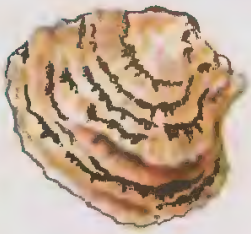
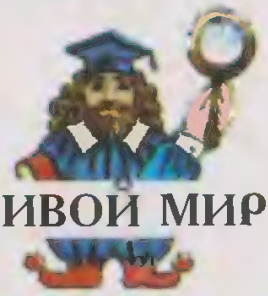
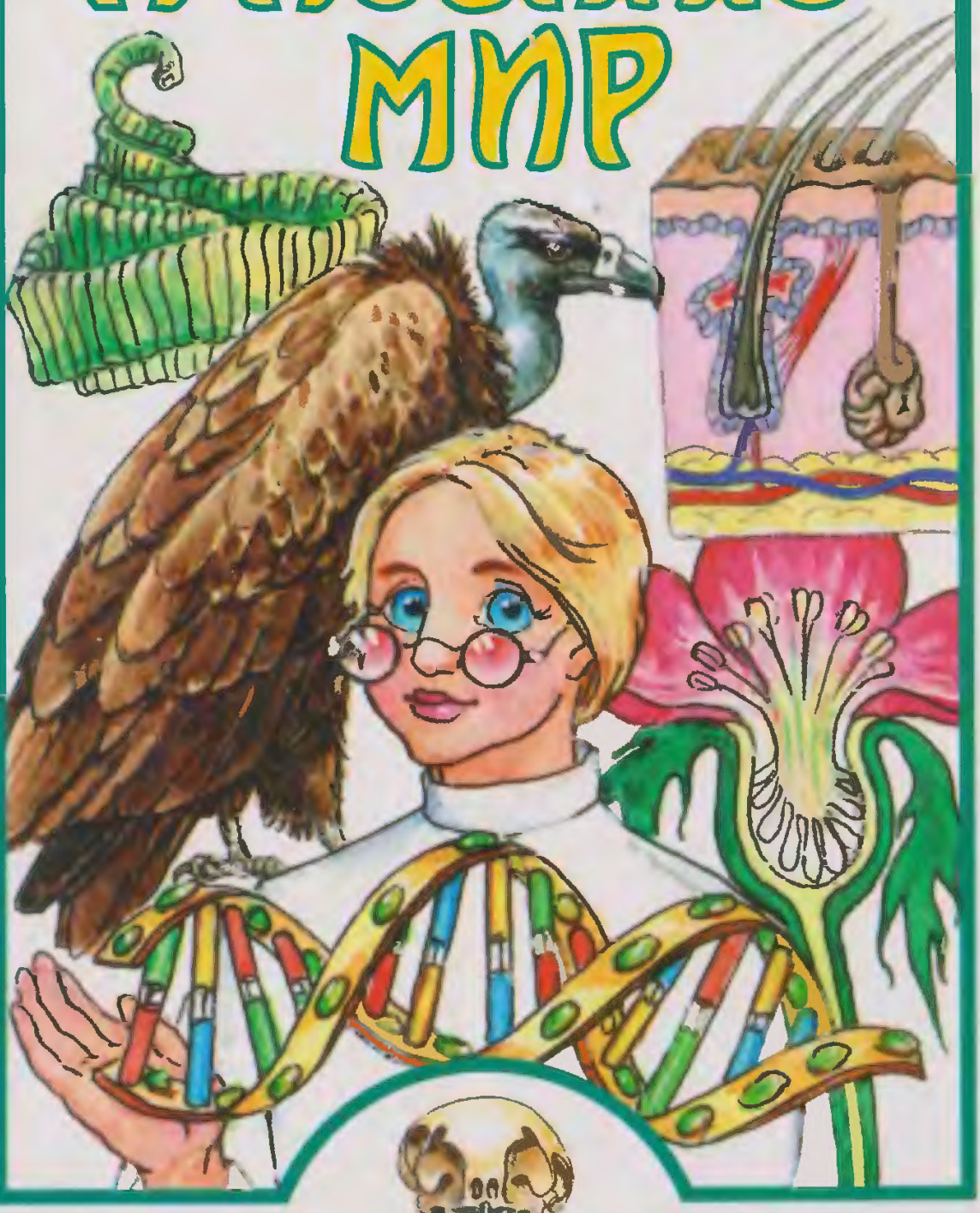
VISIT…





ЖИВОЙ МИР

Я ПОЗНАЮ МИР



УДК 087.5:57
ББК 28.0я2
Я11

Автор *А. Ю. Целлариус*

Художники: *И. М. Магид, О. А. Герасина, К. В. Макаров, Т. С. Проказина, О. П. Багина, Е. Ю. Бакун, А. Е. Бринев, Н. В. Бурнашева, Е. А. Журавлёв, Е. А. Коблик, С. В. Крускоп, С. В. Наугольных, В. А. Полевод, Ю. А. Станишевский*

Я познаю мир. Живой мир : энцикл. / Я11 А. Ю. Целлариус; худож. И. М. Магид, О. А. Герасина, К. В. Макаров и др. — М.: АСТ: Астрель, 2009. — 382, [2] с.: ил.

ISBN 978-5-17-057413-1 (АСТ) (ЯПМ)

ISBN 978-5-271-22770-7 (Астрель)

Оформление обложки *Ю. А. Станишевского*

ISBN 978-5-17-057414-8 (АСТ) (ЯПМ-2)

ISBN 978-5-271-22771-4 (Астрель)

Серийное оформление обложки *А. Д. Попова*

В новом том популярной энциклопедии «Я познаю мир» читатели познакомятся со всем многообразием живых организмов нашей планеты. Издание будет очень полезно школьникам при выполнении докладов и рефератов, а также при подготовке к экзаменам.

УДК 087.5:57
ББК 28.0я2

Подписано в печать 01.08.2008 г.
Формат 84x108/32. Усл. печ. л. 20,16.
С.: (ЯМП).Тираж 5000 экз. Заказ № 9286.
С.: (ЯМП-2).Тираж 5000 экз. Заказ № 9286.

Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 2; 953000 – книги, брошюры

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.60.953.Д.009163.08.07 от 03.08.2007 г.

© ООО «Издательство Астрель», 2008

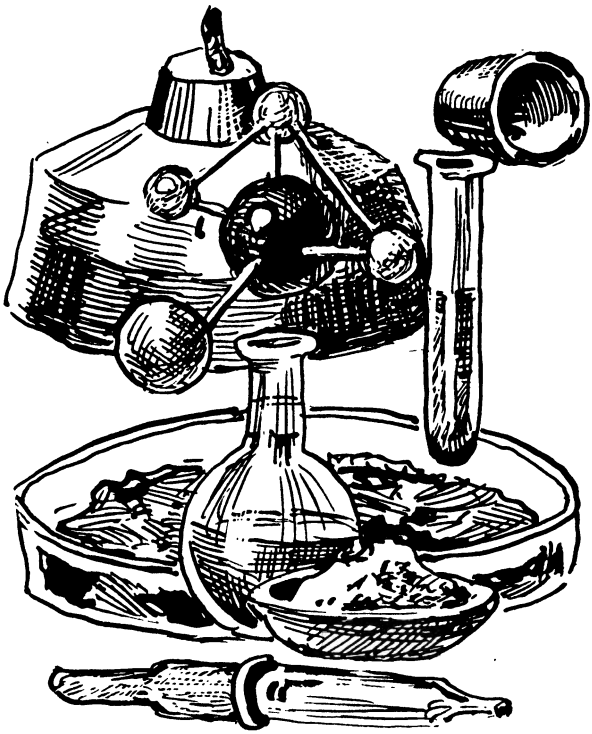
ПРЕДИСЛОВИЕ

Интерес к живым существам возник задолго до появления человека, ещё в те далекие времена, когда впервые возник более или менее сложный мозг. Не только обезьяны, кошки и собаки, но даже мыши и ящерицы интересуются другими живыми существами гораздо больше, чем камнями, луной, звездами и облаками. У нашего далекого волосатого предка интерес ко всему живому наверняка был ещё сильнее, хотя бы потому, что мозг у него был получше мышиного, и он понимал, что он тоже живое существо. Интерес этот не ограничивался чисто практическими соображениями. Только благодаря неуемному любопытству человек стал человеком. Посмотрите на себя. Что, вы купили эту книгу, чтобы лучше подготовиться к экзаменам? Или блеснуть эрудицией? Или научиться лечить прыщи? Да нет, вам просто «интересно».

Эта книга — не учебник биологии и не пособие для подготовки к экзаменам (хотя и в этом качестве она может оказаться небесполезной). Мы просто попытаемся рассказать

вам об основных законах, управляющих жизнью на Земле, и о некоторых живых существах, как экзотических, так и обыкновенных, но от того не менее удивительных. Подробно рассказать о «живом мире» в одной книге просто невозможно. Кое-что пропущено, по чему-то взгляд только скользнет, не задерживаясь. Но если ваш интерес к живому не насытится, а только возрастёт — значит, книга достигла своей цели.

СОДРУЖЕСТВО МОЛЕКУЛ



Странная планета
Четыре кита
Еда, скелет и броня
Основа основ
Память поколений
Липиды
Вещество и энергия
Универсальный аккумулятор
Самообслуживание

СТРАННАЯ ПЛАНЕТА

Если бы существовал некий бесплотный дух, странствующий во Вселенной и мыслящий во вселенском масштабе, то наша Земля должна была бы вызвать у него недоумение. Вроде бы планета как планета, довольно заурядная, вертится себе, понемногу остывая. Состоит в основном из добропорядочных твердых веществ, каких и на других планетах пруд пруди. Но! Во-первых, почти все впадины планеты заполнены жидкой водой. Это уже огромная редкость, на большинстве других планет — вода или газ (пар) или твердое вещество (лёд). Жидкая вода — универсальный и очень агрессивный растворитель. Во-вторых, в атмосфере планеты полно чистого кислорода. Это уже вообще ни в какие ворота не лезет. Кислород — тоже штука очень агрессивная, реагирует чуть ли не со всем на свете и на большинстве планет в чистом виде отсутствует, а входит в состав сложных веществ, оксидов. Всё это говорит о том, что на поверхности планеты идут какие-то странные химические реакции.

Чтобы обнаружить на планете жизнь, вселенскому духу пришлось бы воспользоваться хорошим микроскопом. Это сами себе мы кажемся такими большими и значительными. Но в масштабах не только вселенских, но даже планетарных, мы простым глазом неразличимы. Если представить Землю шаром с диаметром двадцать метров — согласитесь, внушительное сооружение, — то глубина земных

океанов будет около пяти миллиметров, самые глубокие океанские впадины и самые высокие горы — около полутора сантиметров. Так, небольшие шероховатости. А пленка жизни на поверхности этого шара окажется вещью совершенно микроскопической: ни на глаз, ни на ощупь вы эту пленку не обнаружите. Но эта пленка состоит из огромных, по сравнению с любым другим веществом, и очень сложных молекул. Молекулы организованы в головоломные, но строго упорядоченные комплексы, и в этом микроскопическом слое идут совершенно необычные, очень бурные и стремительные химические реакции. И что особенно странно, реакции не замедляются и количество гигантских молекул практически не меняется, хотя при такой химической активности весь реагирующий материал должен очень быстро израсходоваться и поверхность «странной» планеты должна прийти в тот разумный и приличный вид, как у всех остальных.

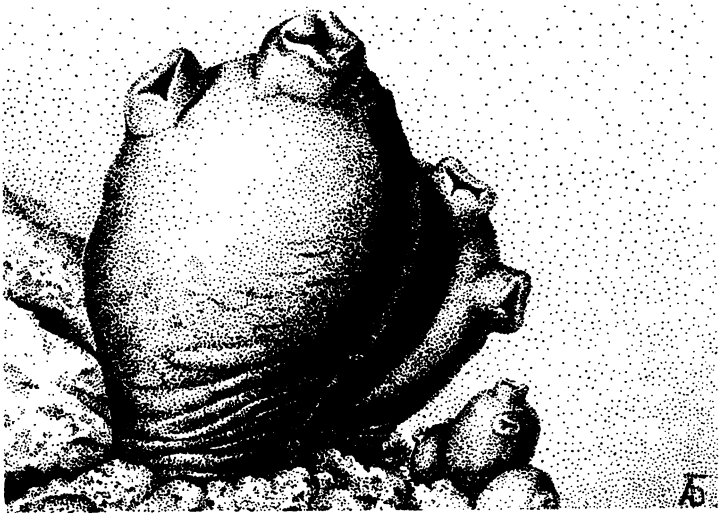
Итак, во вселенском масштабе жизнь — это прежде всего очень странный, совершенно невероятный химический процесс. Всякие другие странности, вроде устройства отдельных комплексов молекул и их поведения, на этом фоне просто теряются. И изобретенный нами вселенский дух, скорее всего, никогда бы не узнал, что эта микроскопическая пленка состоит из кошек, собак, людей, деревьев и инфузорий, что они спят, охотятся и играют, что-то любят, а чего-то терпеть не могут.

Химические процессы, из которых, собственно, жизнь и состоит, изучает раздел биологии — биохимия. Хотя бы самое минимальное представление о биохимии стоит иметь любому биологу, даже если он занимается изучением семейной жизни бенгальских тигров. Давайте коснёмся этой науки и мы.

ЧЕТЫРЕ КИТА

Основу любого живого организма составляют четыре группы веществ: белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и жиры, точнее — липиды. Первые две группы веществ имеют очень крупные молекулы. И молекулы эти состоят не из простой углеродной цепочки, а из последовательности сложных звеньев. Эти звенья повторяются в цепи в определенном порядке, и вся макромолекула называется полимером, а её звенья — мономерами. Углеводы могут быть полимерами, а могут не быть. Молекулы липидов намного мельче (хотя сравнительно с большинством молекул неживого мира они весьма велики). Цепочкой мономеров липиды не являются, но от этого их роль в организме не становится меньше.

В состав всех живых организмов входят: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, натрий, калий, кальций, хлор, магний, железо, медь, марганец, цинк, кобальт. Некоторые эксцентричные существа включают в себя кремний, йод, бор и прочие изыски. Но таких сравнительно немного. Асцидии, наши дальние



Асцидия

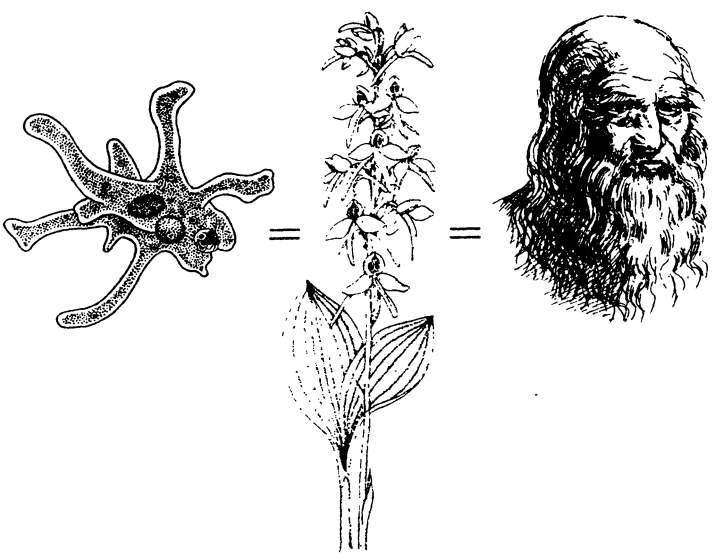
родственники по типу хордовых, выделяют из морской воды и накапливают в своем организме довольно редкий элемент ванадий.

В белках и нуклеиновых кислотах последовательность мономеров не только определяет форму молекулы и её химические свойства. Она ещё служит кодом, несущим определенную информацию. И этот код определяет все процессы, идущие в живом организме. А вот углеводы (полимеры сравнительно простые) и липиды (которые вовсе не полимеры) хранителями информации не являются.

При всём огромном разнообразии живущих на Земле организмов биохимические процессы, происходящие в них, на удивление сходны. Сходны живые существа и по химическому составу. С точки зрения биохимика амёба прак-

тически ничем не отличается от нас с вами. Даже растения и животные, существа с разным способом получения энергии, во многом подобны. Сильно уклоняющиеся формы встречаются только среди бактерий, самой древней группы живых существ, от которой, вероятно, произошли все остальные формы жизни.

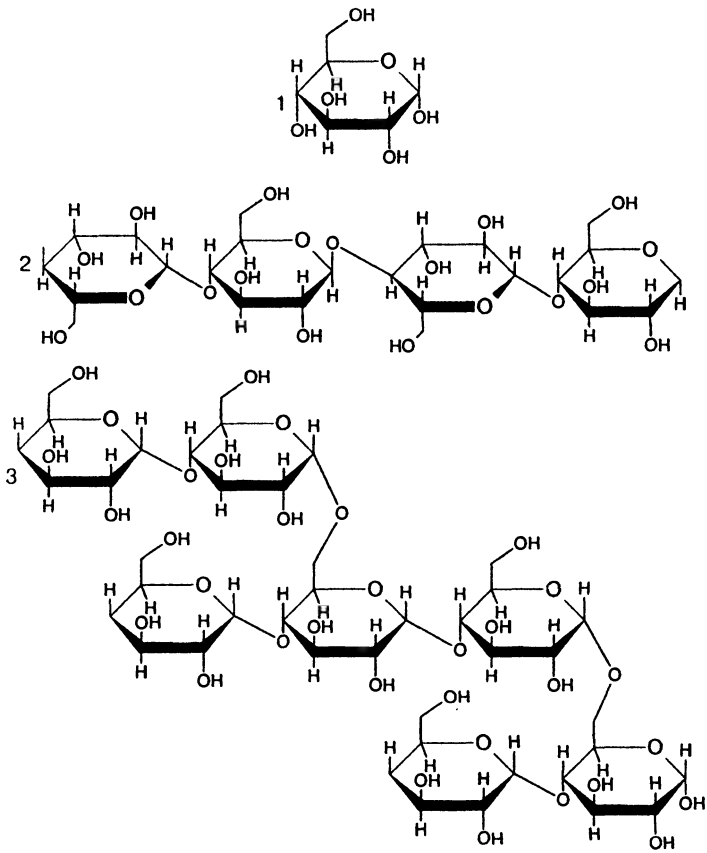
Говоря о четырех китах, на которых держится жизнь, мы следовали биохимической традиции. На самом деле этих китов пять, и пятый из них — простая вода. Всякий живой организм больше чем наполовину состоит из воды. Вода служит транспортным средством, доставляющим из одной части организма в другую необходимые вещества. Вода участвует во многих биологических процессах как в качестве растворителя, так и химического агента.



С точки зрения биохимика амёба, орхидея (любка) и человек почти не отличаются

Если рассматривать углеводы только с точки зрения их состава, то оказывается, что, кроме углерода, в них присутствуют водород и кислород, причем в том же соотношении, что и в воде. Общая формула углеводов — $C_x(H_2O)_y$, они как бы состоят «из угля и воды», почему и получили такое название. Углеводы могут образовывать простые цепочки, ветвящиеся цепочки, могут складываться в кольцевые структуры. Роль их в химической кухне организма велика и разнообразна.

Углеводы, которые не полимеры и состоят из простой цепочки (или кольца), называются сахарами. Они имеют сладкий вкус, и их название всегда оканчивается на «-оза» — рибоза, сахароза, глюкоза, фруктоза. Правда, такие есть и среди других углеводов, например, целлюлоза, которая сахаром никак не является. Почему она имеет такое же окончание? — вопрос к химикам. Сахара могут служить источником энергии, организм расщепляет их на составные части и использует для самых разных целей энергию их химических связей. Но не менее важная их роль — участие в синтезе многих необходимых организму соединений. Сахара и их «кусочки» используются при сборке многих ферментов, нуклеиновых кислот, в том числе ДНК, и универсальных аккумуляторов энергии — молекул АТФ. Используются сахара и для синтеза полимерных полисахаридов, в которых они выступают в качестве мономеров.



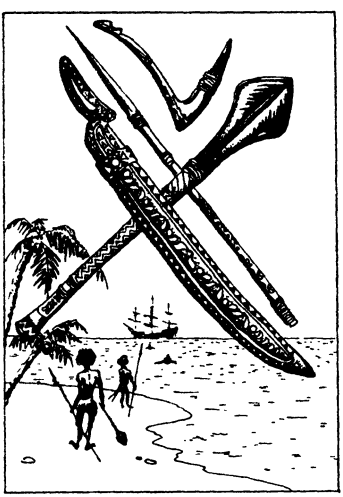
Углеводы:

1 — глюкоза; 2 — простая цепочка молекул глюкозы; 3 — цепочки глюкозы, соединенные водородными связями (целлюлоза)

Полисахариды выступают в основном в двух качествах. Это или запас пищи, или одновременно опора и защита. Запасами пищи обычно служат крахмал (у растений) или гликоген (у животных). И то и другое — ветвящиеся цепочки из глюкозы, но отличающиеся по

размеру и форме. И то и другое откладывается организмом про запас, причем иногда в большом количестве. В случае нужды они служат одновременно источником энергии, которая выделяется, когда их молекулы «рвут на части», и источником строительного материала.

Другой полисахарид: целлюлоза — широко распространена преимущественно в растительном мире. Она тоже — полимер глюкозы, но расщепляется крайне тяжело. Обидно: целлюлозы в мире огромное количество, но использовать её для еды удается только немногим организмам, у которых есть редкий фермент — целлюлаза. Из целлюлозы строятся клеточные стенки растений и некоторых микроорганизмов. В клеточных стенках сосудистых растений целлюлоза сочетается с лигнином — тоже полимером, но не сахаров, а фенолоспиртов. Лигнин, которого немногим меньше целлюлозы, вообще не усваивается никем, кроме некоторых грибов и бактерий. Штука это не только химически устойчивая, но и очень прочная. Из твердых пород деревьев (а древесина — это и есть сочетание целлюлозы с лигнином) в старину на ост-



Деревянное оружие полинезийцев

ровах Тихого океана, где не было подходящего камня, делали боевые мечи и кинжалы.

У животных целлюлозы и лигнина не бывает (исключение составляют асцидии, «туника» которых включает в свой состав целлюлозу), но у них бывает хитин, тоже полисахарид (правда, в его состав входит ещё и азот) и тоже очень прочный. Из хитина строят свои панцири жуки, крабы и многие другие беспозвоночные.

ОСНОВА ОСНОВ

Белок — основа любого живого организма. Если убрать из организма воду, то больше половины сухого остатка будет белком. Все белки — полимеры, состоящие из цепочки аминокислот. В состав белка, кроме вездесущих углерода, водорода и кислорода, всегда входит азот, на это указывает приставка «амино». Обнаружив это сочетание в названии любого вещества, можете быть уверены, что в него входит азот в соединении с водородом, так называемая NH_2-группа. В состав белка часто входят и другие элементы, в частности — сера. Известно более десятка тысяч различных белков, и все они состоят только из двух десятков аминокислот, соединенных в разной последовательности.

Перечислить всё, чем занимаются белки в живом существе, очень непросто. Почти нет процессов, в которых белки бы не участвовали.

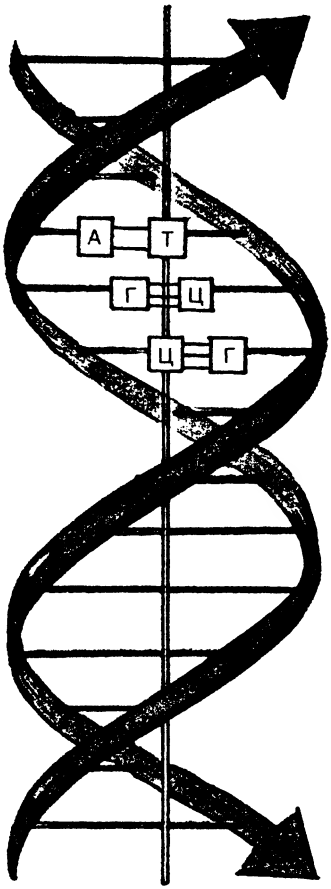
Какие только функции не выполняют белки!

Из белков формируются опорные ткани — связки, сухожилия, хрящи, а в сочетании с известью — кости. Из белка кератина состоят волосы, перья, когти, рога, чешуи рептилий. Белки служат смазкой и увлажнителем — различные слизистые выделения. Разбухая, белки удерживают воду и служат «гидроскелетом» клетки. Все ферменты и многие гормоны — белки. Антитела, ответственные за

иммунитет, — тоже белки. Из белковых молекул, способных скользить друг по другу, состоят волокна мышц. Белки служат транспортным средством: захватывают определенные молекулы и переносят их к месту назначения. Например, всем известный белок гемоглобин транспортирует кислород. Ну и, кроме всего прочего, белки служат пищей, хотя это вовсе не главная их функция. Собственные белки организм без крайней нужды на такие примитивные цели старается не расходовать, это все равно, что забивать гвозди микроскопом. Думаю, уже ясно, что Фридрих Энгельс недаром назвал жизнь способом существования белковых тел.

ПАМЯТЬ ПОКОЛЕНИЙ

На фоне великого множества разнообразных белков нуклеиновые кислоты выглядят бедными родственниками — их существует всего две разновидности: ДНК (дезоксирибонуклеиновая) и РНК (рибонуклеиновая). Но роль этих двух соединений не уступает роли всех белков, вместе взятых. Нуклеиновыми они названы потому, что первоначально были выделены из клеточного ядра, а ядро по-латыни — нуклеус. В свое время биохимикам пришлось немало поломать голову, прежде чем удалось выяснить, как нуклеиновые кислоты устроены. И выяснилось, что устроены они сравнительно просто.



Строение ДНК:
1 — нуклеотиды; 2 — воображаемая ось молекулы; 3 — цепочки из дезоксирибозы и остатков фосфорной кислоты

Представьте себе две цепочки или лучше — два стержня, каждый из которых состоит из чередующихся остатков сахара (рибозы) и фосфорной кислоты. В одном стержне остатки рибозы, образующие короткую цепочку, замкнутую в пятиугольник, повернуты «головой» вверх, в другом — вниз. Заверните эти стержни спиралью (оба в одну сторону) и вставьте спирали друг в друга. А теперь соедините стержни поперечинами. Получится эдакая закрученная лестница, по которой вам даже удалось бы подняться, только один виток вы будете карабкаться спиной вверх, а следующий — спиной вниз. Описать словами это трудно, лучше взгляните на рисунок. Поперечины, ступеньки лестницы, состоят каждая из двух азотистых оснований. Всего этих оснований четыре: гуанин, цитозин, аде-

нин и тимин. Причем каждая ступенька состоит или из гуанина и цитозина, или из аденина и тимина. Составить ступеньку, скажем, из цитозина и тимина не удастся, в этом случае она просто «не влезет» в пространство между стержнями. Ступеньки присоединяются всегда к противолежащим остаткам сахара. Благодаря тому, что остатки сахара чередуются с остатками фосфорной кислоты, между ступеньками и образуются промежутки. Каждая ступенька может быть присоединена к стержню как тиминовым (гуаниновым) концом, так и противоположным — адениновым (цитозиновым). Вот и всё разнообразие: по сравнению с белком кажется негусто.

Тем не менее в последовательности ступенек зашифрована практически вся биохимическая информация об организме. И какие белки и прочие вещества входят в его состав, и как должны идти процессы синтеза, и как используется энергия, и как регулируются и сочетаются все эти процессы. В конечном итоге от этой информации зависит и из каких клеток этот организм состоит, и в какой последовательности формируются различные ткани и органы при развитии, короче — как этот организм устроен.

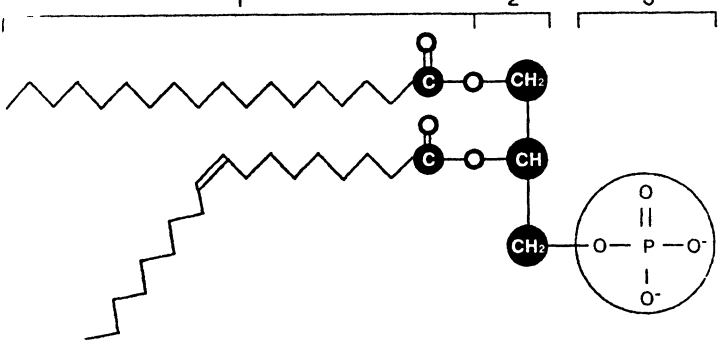
Молекулы нуклеиновых кислот каждого вида организмов: мухи, ежа, амебы или кокосовой пальмы хранят информацию о результатах миллионов лет уникального исторического развития. Но особенность такой молекулы заключается не только в том, что она

хранит информацию. Эта лестница способна воспроизводить точнейшие копии самой себя. В какой-то момент на конце лестницы ступеньки начинают рваться пополам, и спирали расходятся. Каждая спираль с обломками ступенек настраивает недостающие половинки ступенек и второй «стержень». Недостающие элементы она черпает из так называемого нуклеотидного фонда — «плавающих» в окружающем растворе остатков рибозы, соединенных с остатком фосфорной кислоты и с одним из азотистых оснований. Такие кусочки, независимо от того, входят они в состав лестницы или существуют сами по себе, называются нуклеотидами. Нуклеотиды бывают четырех типов соответственно четырем типам оснований.

В результате расщепления с последующей достройкой (этот процесс называется репликацией) лестница дублируется, и дублируется вся информация, которая в этой странной молекуле содержится. Именно на этом дублировании, которое обеспечивает преемственность поколений, и держится вся жизнь на планете.

ЛИПИДЫ

Липиды — группа соединений, очень разнообразных по своим свойствам и строению. Липиды — это продукт объединения какого-либо из спиртов с так называемыми жирными кислотами. «Настоящий» липид — это фактически спирт, где к каждому атому углерода,



Формула молекулы фофолипида:

1 — остаток жирной кислоты; 2 — остаток глицерина; 3 — остаток фосфорной кислоты

кроме всего прочего, «прицеплен» остаток кислоты. Но биохимики включают в это семейство и некоторые другие вещества, которые, по сути, продукт того же союза — спиртов и кислот, но в этом конечном продукте уже не удается различить структуру ни того, ни другого.

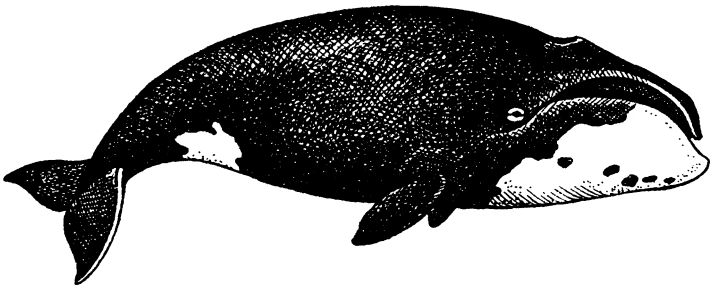
То, что мы привыкли называть жиром, — это соединения, имеющие в основе трёхатомный спирт глицерин. В зависимости от того, какого рода кислоты объединились с глицерином, эти жиры будут или тугоплавкими (собственно жиры), или легкоплавкими и при комнатной температуре жидкими (такие принято называть маслами). Главная роль всех глицеролов (это ещё одно название жиров) — запасание энергии на черный день. Окисление одного грамма жира дает в несколько раз больше энергии, чем окисление одного грамма углевода. Правда, есть у липидов один недостаток — они не растворимы в воде. Это значит,

что запасы нужно либо откладывать прямо там, где они потом будут использоваться, либо окислять жир, а потом каким-то образом транспортировать энергию. Углеводы же растворяются в воде и легко транспортируются «со склада» к месту использования. Поэтому углеводы — резерв быстрого реагирования, а для мобилизации жиров организму нужно какое-то время.

Очень часто жиры служат резервом не энергии, а воды. Вода — один из продуктов окисления жиров, причем получается её довольно много, вдвое больше, чем при окислении углеводов. А окисление белков вообще воды не дает, наоборот, требует её для выведения продуктов распада. В частности, поэтому организмы не любят использовать белки в качестве источника энергии. У многих пустынных животных запасы жира служат именно источником воды. Жир верблюжьих горбов, кроме всего прочего, — своего рода фляга с водой. Точно такую же роль выполняет курдюк овцы, отложения жира в хвостах многих пустынных грызунов и ящериц. Кстати, вода получается не только при окислении жиров, но и при их синтезе.

А для многих животных жир служит не столько источником воды или энергии, сколько термоизоляцией. Все теплокровные животные, которые живут или на Севере, или в воде (теплоотдача в воде очень высока), имеют весьма основательный, равномерно распределенный под кожей по всей поверхности тела слой жира.

Воска — тоже липиды, в основном на основе спиртов с длинными углеродными цепочка-

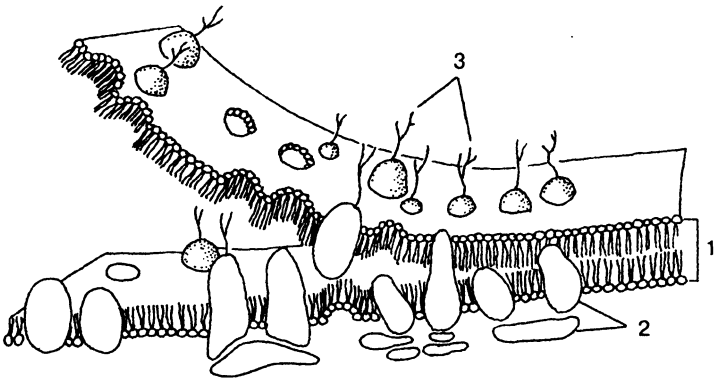


Гренландский кит.

Толщина подкожного жирового слоя у этого жителя Ледовитого океана местами превышает полметра!

ми. Вырабатываются они не только пчелами, но и многими животными и растениями. Используются главным образом для создания водонепроницаемых покрытий. Причем не столько для того, чтобы не пустить воду внутрь, сколько для того, чтобы не давать организму испарять влагу без особой нужды. Восковым налетом покрыты листья растений, у пустынных растений этот слой особенно толстый. Восковым налетом покрыты тела большинства наземных членистоногих — для мелких животных высыхание особенно опасно. У некоторых пустынных жуков восковое покрытие настолько толстое, что воск с них можно собирать, буквально соскребая ногтем.

Стероиды и терпены относятся к классу липидов, у которых структура первоначальных компонентов никак себя не проявляет. Некоторые из них являются гормонами или ростовыми веществами, к стероидам относится витамин D, терпенами являются многие ароматические вещества, например ментол,



Клеточная мембрана:
1 — двойной слой фосфолипидов; 2 — белки; 3 — углеводы, связанные с белками

знакомый всем любителям жевательной резинки. Некоторые из них — пигменты, а это вещества, ответственные не только за окраску, но и за фотосинтез. Мы говорили, что липиды не бывают полимерами. Но это относится только к липидам «настоящим». Среди терпенов полимеры встречаются — каучук из их числа.

Но самые интересные и самые важные липиды не относятся ни к жирам, ни к воскам, ни к стероидам или терпенам. Это фосфолипиды, гликолипиды и липопротеины. Первые — это заурядные липиды, содержащие фосфатную группу. Гликолипид — продукт соединения липида с углеводом, а липопротеин — с белком. Все три образуют клеточные мембраны, а это штука, которая выполняет работу необыкновенной важности. Без мембран существование клетки невозможно. Причем мембрана — это не просто тот «пузырь», который не

дает содержимому клетки растекаться. Задача её гораздо сложнее: она должна выпускать из клетки одни вещества и пропускать внутрь совсем другие.

ВЕЩЕСТВО И ЭНЕРГИЯ

Вся совокупность биохимических реакций, которые идут в живом организме, называется обменом веществ, или метаболизмом. В целом это сложнейший комплекс реакций, ветвящихся, снова сливающихся, замыкающихся в циклы. Пока мы живем, вся эта биохимическая машина не останавливается ни на секунду. Для описания метаболизма потребуется весьма увесистый том, а для того чтобы понять, что в этом томе написано, нужно прочитать ещё несколько книг не меньшего объема. Однако суть метаболизма довольно проста. С одной стороны, это непрерывное самовосстановление и самообновление. Вещества, получаемые из внешней среды, разбираются на кусочки, из этих кусочков собираются нужные детали, отходы ремонтных работ — стружки, опилки, обломки старых деталей — из организма выбрасываются (если их нельзя тоже пустить в дело). В ходе всех этих превращений энергия поглощается (на одних этапах) и выделяется (на других). Так что, совсем упрощенно, метаболизм — процесс получения и превращения энергии. Вопрос — откуда организм эту энергию получает и каким способом?

Источником энергии для постоянного ремонта и перестройки самого себя у всякого организма, без исключения, является процесс дыхания. Мы привыкли называть дыханием обмен воздуха в легких, который обогащает кровь кислородом и удаляет из организма углекислый газ. В этом же смысле употребляют слово «дыхание» и зоологи. Но упертые биохимики, физиологи и ботаники называют этот процесс газообменом. Кстати, многие организмы обходятся не только без легких, но и без любых других специализированных органов газообмена, у них газы поглощаются (и выделяются) просто через поверхность тела. Но вернемся к дыханию. Дыханием биологи (за исключением, как мы уже сказали, большинства зоологов) называют процессы окисления органических веществ. В ходе этих процессов выделяется приличное количество энергии. Горящий костер — всем известный процесс окисления целлюлозы, идущий с выделением света и тепла. Итак, дыхание — это способ получения энергии.

Окисление — это процесс отъема у вещества электронов. То вещество, у которого электроны изымаются, называется дыхательным субстратом. Но можно называть его и просто топливом (только не в присутствии биохимика). Наиболее распространенным и удобным топливом является глюкоза. Если глюкоза кончилась — ферменты начинают расщеплять запасные полисахариды (крахмал или гликоген), которые есть не что иное, как полимер глюкозы. Но в некоторых тканях животных и рас-

тений в качестве дыхательного субстрата используются жиры. Окисление одной молекулы жира дает намного больше энергии, чем молекула глюкозы. Однако окисление жира — процесс сложный и многоэтапный, идет с участием множества ферментов, которые для начала должны разобрать его на глицерин и жирные кислоты, а потом иметь уже дело с ними по отдельности. Так что дышать жиром — занятие хоть и выгодное, но хлопотное. Белки используются в качестве топлива исключительно редко, только когда нет другого выхода. Процесс окисления белков ещё сложнее, чем жиров, чистой энергии получается сравнительно немного, а ядовитых азотсодержащих отходов — тьма. А ведь нужно ещё затратить энергию, чтобы их из организма вывести.

Коль скоро дыхание — процесс отъема электронов, то понятно, что одного дыхательного субстрата для того, чтобы дышать, мало. Нужно ещё что-то, что будет эти электроны отнимать: окислитель или, выражаясь уж совсем на языке химиков, акцептор электронов. В большинстве случаев окислителем является кислород, и тогда говорят об аэробном дыхании. Аэробное дыхание — самое выгодное, топливо при этом используется полностью.

Существует, однако, на свете масса мест, где свободного кислорода не найти или его очень мало. Например, в глубинах почвы, в донных отложениях, в нашем с вами кишечнике, в конце концов. Организмы, живущие в таких условиях, пользуются дыханием анаэробным.

В качестве окислителя они используют не кислород, а другое вещество, способное к отъему электронов у субстрата. Анаэробное дыхание менее выгодно, топливо при этом «сгорает» не полностью, а образующиеся «шлаки» сплошь и рядом тормозят метаболизм. Анаэробным дыханием, кстати, при нужде могут пользоваться и вполне «кислородные» организмы. Когда вы быстро и долго бежите от злой собаки, кровеносная система не успевает подавать нужное количество кислорода работающим на пределе мышцам. И какое-то время мышцы работают на анаэробном дыхании. Но в результате в них накапливается «шлак» — молочная кислота (при достатке кислорода она тоже сгорает). Потом, чтобы мышцы опять могли работать в полную силу, молочную кислоту требуется убрать, а для этого нужно время и энергия.

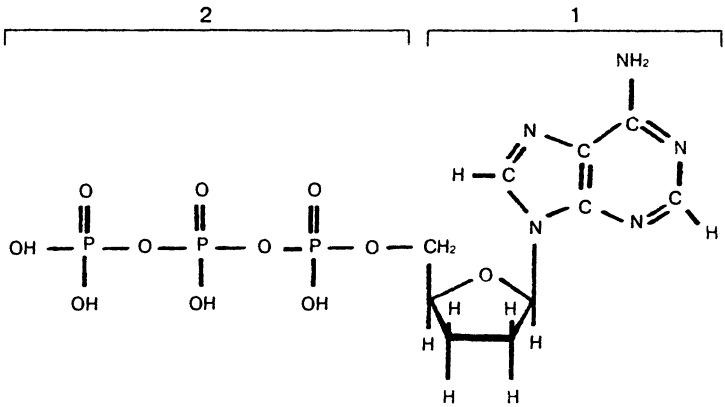
И имейте в виду, что на самом деле всё в сотни раз сложнее, чем вы можете подумать, читая наше предельно упрощенное описание. В процесс дыхания входят десятки головоломных реакций, в которых участвуют десятки ферментов.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АККУМУЛЯТОР

Энергия, образующаяся в процессе дыхания, не используется напрямую. Да это и невозможно, энергия требуется для многих процессов, и, если бы эти процессы использовали каждый непосредственно энергию субстрата,

пришлось бы каждому иметь свой окислитель, причем часто специфический, кислород далеко не во все биохимические процессы «вписывается». Причем, поскольку молекулы субстрата достаточно велики, пришлось бы организовать их транспортировку непосредственно к месту применения, что тоже непросто. В общем, система усложнилась бы до невозможности. И поэтому энергия, получаемая в результате дыхания, запасается в своего рода универсальных аккумуляторах. Причём у всех известных нам организмов этот аккумулятор один и тот же. И все процессы, идущие с потреблением энергии, имеют один «универсальный разъем», позволяющий подключаться к этому аккумулятору. Согласитесь, очень удобно.

Универсальными аккумуляторами живых систем являются молекулы аденозинтрифосфорной кислоты. Выговорить это слово без запинки удается не всякому биохимику, и поэтому сей аккумулятор принято называть просто АТФ, равно как и дезоксирибонуклеиновую кислоту все, не ломая язык, называют ДНК. Про ДНК вспомнилось потому, что АТФ и ДНК близкие родственники. По сути, АТФ является нуклеотидом. Это молекула сахара рибозы плюс соединенные с ней одно азотистое основание (аденин, вспомните главу «Память поколений») и три фосфатные группы. Отщепление двух фосфатных групп дает весьма существенный выход энергии, существенно больший, чем при разложении большинства других соединений. Почему это так — биохимики



АТФ:

1 — аденозин; 2 — остатки фосфорной кислоты

пока не знают, здесь дело не только в самой фосфатной связи, а в каких-то свойствах молекулы в целом.

Одна молекула АТФ — своего рода стандартная единица измерения выхода или расхода энергии. Так, например, полное «сгорание» одной молекулы глюкозы дает чистый выход в 38 молекул АТФ, при этом бескислородный этап расщепления дает только 4 молекулы (это к вопросу об эффективности аэробного и анаэробного дыхания).

САМООБСЛУЖИВАНИЕ

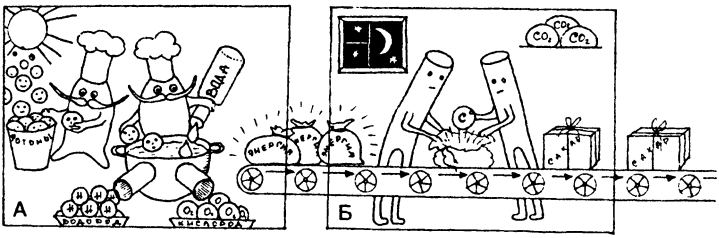
Среди живых существочень много таких, которые, не напрягаясь, используют готовую органику. Их называют гетеротрофами, и к ним принадлежим и мы с вами, и зайцы, и тигры,

и амёбы, и множество других существ. И все они живут за счет организмов, которые научились готовить питательные вещества сами, из простых, повсюду довольно обильных минеральных соединений. Эти умельцы называются автотрофами, и к ним относятся все зеленые растения, многие протисты и многие бактерии.

Все знают, что фотосинтез — это процесс, в котором из углекислого газа и воды с использованием энергии света синтезируются углеводы, а побочным продуктом синтеза является чистый кислород. Но это, так сказать, кончик носа и кончик хвоста процесса, в середине же происходят очень сложные и интересные вещи.

Главную роль в фотосинтезе играют вещества, называемые пигментами. «Пигмент» по-латыни — краска. Так называют довольно большую группу веществ весьма различного строения, которые поглощают одну часть цветового спектра и отражают другую, в результате чего мы воспринимаем их синими, красными, желтыми, зелеными и так далее. Пигменты, участвующие в фотосинтезе, имеют зеленый, красный или желтый цвет и близко родственны уже знакомым нам липидам. Зеленый пигмент (точнее, целая группа родственных пигментов) называется хлорофиллом.

Весь процесс обслуживается кучей молекул, кроме хлорофилла в нем участвует множество ферментов, которые этот процесс «погоняют», связывают промежуточные вредные продукты, восстанавливают окисленные вещества и делают уйму всякой другой работы.

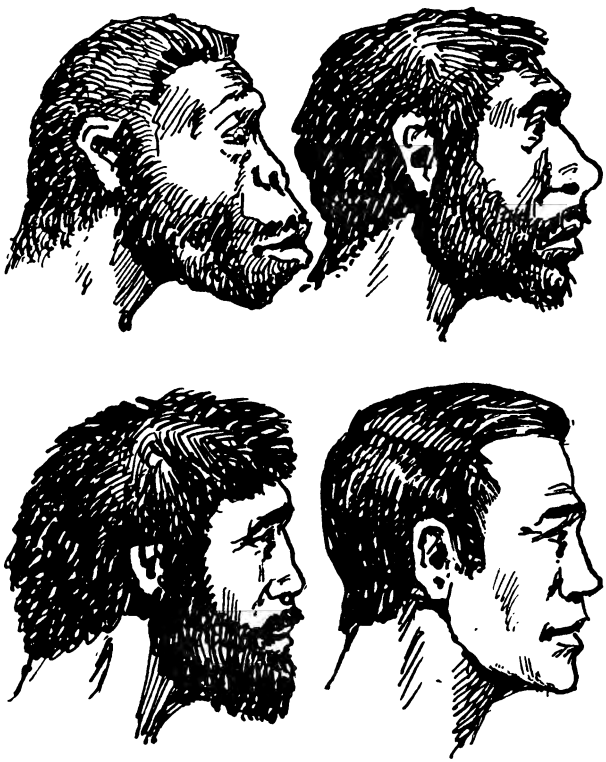


Общая схема фотосинтеза:
А — световая фаза; Б — темновая фаза

Фотосинтез, как и все другие биохимические процессы, идет поэтапно и заканчивается образованием универсального топлива — глюкозы. Глюкоза уже используется автотрофом в качестве нормального дыхательного субстрата и обеспечивает энергией множество других метаболических процессов, которые практически такие же, как у гетеротрофов. Как ни хорош фотосинтез, но на одной глюкозе далеко не уедешь, растению (равно как и бактерии) для нормальной жизни нужно множество других веществ и процессов.

Может на первый взгляд показаться, что фотосинтезирующие организмы — «главные» организмы планеты. Ведь все остальные существуют за счет веществ, которые они синтезируют. На самом деле это совершенно не так, в биосфере нет «тружеников» и «паразитов». Растения не умеют использовать сложные молекулы «напрямую». Если бы не гетеротрофы, которые поэтапно разлагают созданную растениями органику, довольно быстро весь углерод и многие другие вещества оказались бы включенными в отмершие тела растений. Земля в течение короткого времени превратилась бы в пустыню, покрытую трупами нескольких поколений растений.

СТАНОВОЙ ХРЕБЕТ БИОЛОГИИ (ЭВОЛЮЦИЯ)

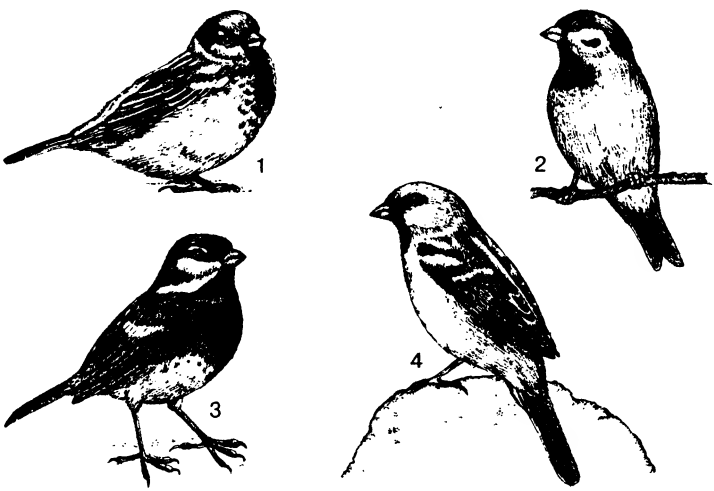


2-9286

Что такое «вид»?
Источник новизны
Гены, аллели и популяции
Мутации хорошие и плохие
Эволюция
Что такое приспособленность
Куда ведет отбор
Стратегия размножения
Эволюция культуры

ЧТО ТАКОЕ «ВИД»?

Это один из тех вопросов, который легче задать, чем получить на него ответ. Если собрать все, что биологи понаписали на эту тему, получится очень объемистая библиотека. Поскольку мы заговорили об эволюции, что-то сказать о виде придется и нам, потому что дальше вы будете сталкиваться со словами: новый вид, видообразование, изменение видов, вымирание видов, конкуренция между видами. На первый взгляд вопрос кажется простым. Бурый медведь — один вид, белый — другой, домовая мышь — третий, нильский крокодил — четвертый. С мышью и крокодилом все ясно. Но, скажем, воробей с коричневой «шапочкой»



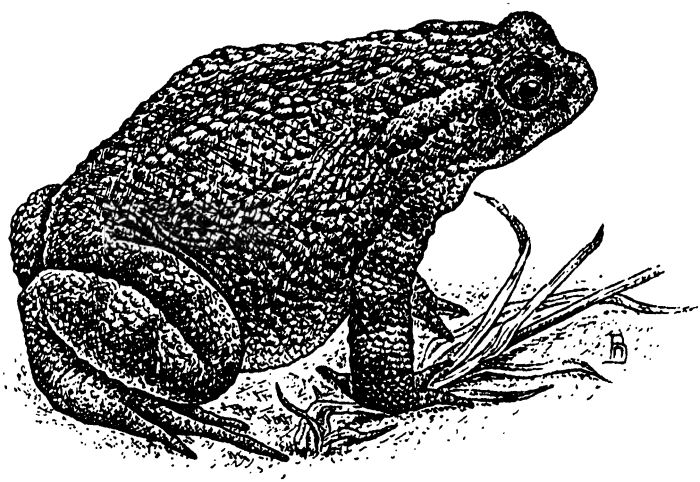
Виды воробьёв:
1 — домовый; 2 — полевой; 3 — испанский (черногрудый); 4 — пустынный

и маленьким черным галстучком и воробей с серой шапочкой и большим галстуком — разные виды, полевой и домовый воробьи. А трясогузки с серой спинкой и с черной — один вид, белая трясогузка. А взять рыжую и красную полевок. Это разные виды, но, кроме названия, разница между ними настолько мала, что их даже специалисты порой путают.

Вообще, понятие вида возникло в старые добрые времена из простой потребности отличать одно от другого. Какой-нибудь маститый врачеватель говорил своему ученику:

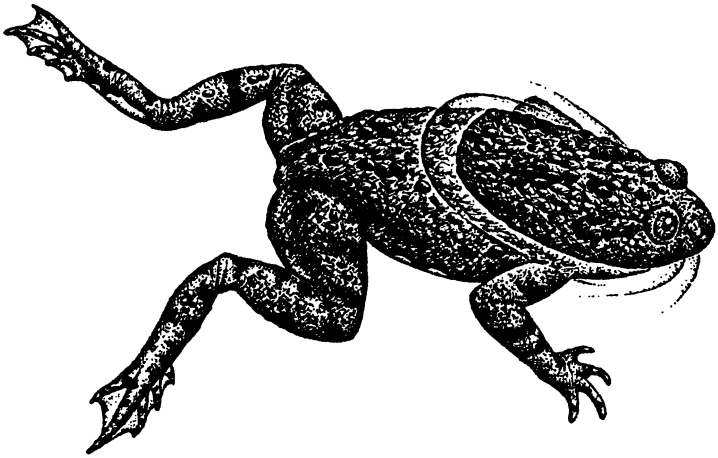
— Для излечения зубной боли поймай жабу, погрузи её в серебряный сосуд с мозельским вином...

— А что такое «жаба», мэтр? — перебивал его почтительный ученик. Следовало объяснение, что жаба — это животное с четырьмя ногами, без хвоста и с голой кожей, покрытой бородавками. Ученик мчался в поля, совал в мешок все, что попалось под руку, возвращался домой и, сидя в сенях, начинал сортировать добычу. Для начала он отбирал всех с четырьмя ногами, выбрасывая шестиногих жуков, одноногих улиток и двуногих перепелок. Затем выбрасывал покрытых шерстью мышей и покрытых чешуей ящериц. Затем выбрасывал пару голых, четвероногих, но хвостатых тритонов. Затем, отсортировав полтора десятка лягушек, покрытых голой кожей, без хвоста, но и без бородавок, он оставался с несколькими жабами, которых торжественно нес мэтру.



Серая жаба

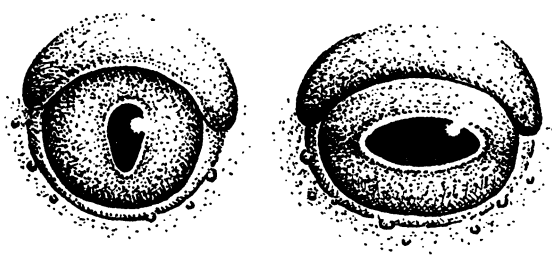
Ясно, да? Вид — это группа особей, обладающая уникальным сочетанием признаков. Именно сочетанием, сам по себе признак может быть одновременно у разных видов. Но каких признаков? Только тех, которые считаются существенными, просто потому, что ВСЕ признаки перечислить просто невозможно. Скажем, форму зрачка мэтр в описание не включил. Предположим, дело происходило в Швеции. Там этого описания вполне достаточно. Но если мэтр переберется куда-нибудь поюжнее, то вместе с жабами он получит ещё и жерлянок, у которых кожа тоже бородавчатая, но к жабам они отношения не имеют. Кожные выделения у них совсем другого свойства, и опускать их в серебряный сосуд с вином нет никакого резона. Здесь пришлось бы указать, что зрачок овальный и вытянут



Жерлянка

горизонтально (у жерлянки он треугольный), или описать окраску. Вообще же мэтру могут притащить и больного, покрытого бородавками поросенка, которому собака откусила хвост. А что — описанию соответствует.

Из нашего примера хорошо видно, что сначала нужно разбить живых существ на виды, а только после этого можно решить, какие признаки существенные, а какие нет. Раздел биологии, классифицирующий всё живое, на-



Зрачок жерлянки (слева) и жабы (справа)

зывается систематикой. Систематики — несчастные люди. Сначала они или их предшественники чисто интуитивно выделяют группы одинаковых особей и называют их видами. Затем они находят признаки, по которым все эти виды можно различить. Некоторое время всё идет прекрасно. Потом откуда-нибудь из Африки, Сибири или с острова Пыху-Вспыху им привозят бородавчатого поросенка. Ежу понятно, что это не жаба и не тритон. Систематики начинают вводить дополнительные признаки. Самое при этом смешное, что виды — это реальность. Они действительно существуют. И отказаться от понятия вида нельзя, половина биологии просто рухнет.

Систематики мучались довольно долго, пока в дело не вмешались эволюционисты. Для них главным было не то, как отличить один вид от другого, а то, что признаки вида передаются из поколения в поколение и при этом могут постепенно изменяться. Вся куча признаков была заменена одним четким критерием. Вид — это группа живых существ, способных спариваться и приносить плодовитое потомство. Всё, точка. Кстати, выяснилось, что поколения натуралистов, классифицировавших живые существа на основе своего опыта и интуиции, были вовсе не дураками. Большинство видов, выделенных на основании признаков строения, оказались вполне настоящими видами, хотя и не все.

Таким образом вид — это носитель определенной, принадлежащей исключительно ему

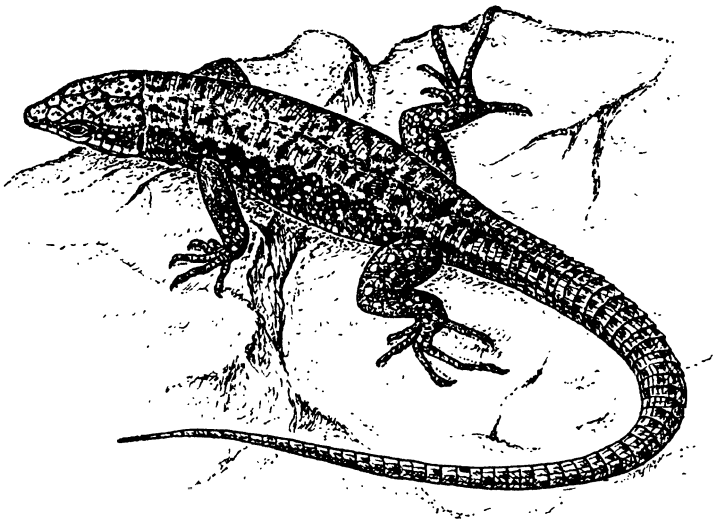
генетической информации. Каждое поколение получает эту информацию «снизу», от своих предков, начиная с коацерватной капли. И передает её «вверх», своим потомкам. Получить информацию «сбоку», от другого вида, или передать её «вбок» — невозможно. Каждый вид варится в своем собственном соку. Биологи называют это репродуктивной изоляцией.

Вы думаете, всё сразу стало ясно? Увы, не всё. Прежде всего, совершенно нереально установить возможность (или невозможность) скрещивания во всех без исключения случаях. Когда речь идет о слоне и крокодиле, всё понятно, признаки того и другого несовместимы в принципе, так что ничего из их брака не получится. Даже если речь идет о крокодиле и черепахе, то и тогда ситуация ясна. Но когда речь идет о видах похожих, то дело осложняется. Даже ныне живущие виды не всегда возможно проверить на скрещиваемость, скажем, просто потому, что они вообще не желают размножаться в неволе. А уж когда речь идет о видах вымерших, известных по ископаемым остаткам... Так что очень часто приходится полагаться на старый добрый критерий различий строения. Виды, выделенные таким образом, называются морфологическими видами. А виды, для которых точно установлена невозможность скрещивания — биологическими видами.

Если вид меняется, то неизбежно наступает этап, когда разные особи уже отличаются друг от друга, но ещё способны скрещиваться. Возьмем домашнюю со-

баку. Дог и лайка отличаются друг от друга очень сильно, но скрещиваются вполне успешно. А вот с догом и таксой дело обстоит сложнее, успешному скрещиванию мешает разница в размерах. Однако в принципе скрещивание возможно. В таких случаях границы между видами проводятся условно, руководствуясь в значительной степени удобством и необходимостью различения. Так, волка и собаку относят к разным видам, хотя они и прекрасно скрещиваются, а дога и таксу — к одному виду.

На этом проблемы не оканчиваются. Оказалось, что многие виды способны скрещиваться и приносить плодовитое потомство. Но плодовитость этого потомства очень низка. Как прикажете поступать в таком случае? Ещё интересней ситуация, когда потомство от смешанных браков не только весьма плодовито, но и гораздо сильней и выносливей, чем потомство «чистокровное». Но виды не спариваются, скажем, потому, что ритуал ухаживания у них разный. Если вы начнете прыгать на месте перед встреченной в парке девушкой, бить себя кулаком в грудь и ломать ветки с криками «у! у! у!», вам вряд ли ответят взаимностью (хотя, говорят, есть группы молодежи, где принято выражать симпатию именно таким образом). С другой стороны, если вы уступите место на пеньке в тропическом лесу самке шимпанзе, заведете с ней разговор о музыке и пригласите на концерт, вас также поймут неправильно. У многих же животных ритуал ухаживания — штука врожденная, и изменять его по своему желанию, в отличие от нас, они не могут.



Скальная ящерица.
Многие виды скальных ящериц размножаются только партеногенезом и состоят из одних самок

Мало того, существуют живые существа, у которых вообще нет полового размножения и, сами понимаете, скрещивания у них тоже нет, да и быть не может.

Есть растения, размножающиеся исключительно вегетативным путем, например, банан или, чтобы не забираться так далеко от родных мест, — чеснок. Есть животные, причем весьма продвинутые, некоторые насекомые, рыбы и ящерицы, у которых виды, хорошие морфологические виды, состоят из одних самок. Яйцеклетки начинают делиться без всякого участия самцов и развиваются из них новые поколения самок. Эта штука называется партеногенезом.

Если считать видом группу особей, способных скрещиваться, то понятие «вид» применимо только к организмам, которые так или иначе, но размножаются половым путем. А что прикажете делать с видами (а как их ещё назвать?), которые состоят из одних самок, размножающихся партеногенезом? Члены такого «вида» не могут смешать свою наследственную информацию. Получается, что каждая особь — отдельный вид?

— Черт возьми! — можете сказать вы. — Нам таки объяснят толком, что такое вид?

Нет, не объяснят. Вид остается понятием достаточно расплывчатым. Когда всё ясно, биологи говорят о «хороших видах». Когда не ясно — о видах «плохих», о полувидах, подвидах, расах. Каждый раз границы между этими категориями вызывают ожесточенные споры. Но иначе и быть не может. Вид — это не застывший памятник эволюции или Божественного Творения. Вид способен изменяться, и потому провести четкие границы между видами удается не всегда. Но между понятиями «ребенок» и «взрослый» тоже не всегда можно провести четкую границу: вот, до обеда он ребенок, а после обеда уже взрослый. Но тем не менее понятия эти совершенно реальны, и отказываться от них не имеет смысла. А кому по складу ума нужна полная ясность определений, тому лучше выбрать какую-нибудь другую область исследования.

Надо сказать, что большинство людей терпеть не могут неопределенности. Им требуется все разложить по полочкам. Это белое, это черное, это один вид, это другой. Когда выясня-

ется, что провести границу между белым и черным невозможно, они находят выход и из этого положения. Они объясняют, по каким законам черное превращается в белое и наоборот. Всё становится ясно, и все довольны. Не надо думать, что страсть к ясности — удел людей ограниченных. Именно эта страсть лежит в основе любопытства, и именно из любопытства выросла наука. Страсть к ясности свойственна всем живым существам с развитым мозгом. Это залог благополучия, долгой жизни и мирной кончины. Если в окружающем мире что-то неясно и непонятно, это может оказаться опасным. Чем больше мышь или тигр знает о том, что происходит вокруг, тем меньше шансов попасть в лапы врага или упустить вкусный кусочек. Мозг всех высших позвоночных устроен таким образом, что недостаток информации вызывает неприятное ощущение, а получение информации — приятное. Так что и подглядывание в замочную скважину за соседями, и постановка хитроумного эксперимента имеют в основе одну врожденную склонность — любопытство. А любопытство — тоже результат эволюции и миллионов лет естественного отбора.

ИСТОЧНИК НОВИЗНЫ

Хорошо известно, что если, скажем, мух начинают травить дихлофосом, то в конце концов может возникнуть такая разновидность, которая будет этот дихлофос пить вместо са-

харного сиропа. Многие старые добрые отравы, некогда прекрасно морившие мух, ныне можно использовать только одним способом — насыпать в мешочек и этим мешочком муху прихлопнуть. Это не шутка. Для борьбы с вредителями приходится разрабатывать всё новые и новые яды, к старым они привыкают, причем «привычка» передается по наследству, а значит, происходят какие-то изменения в ДНК — ведь именно она хранит всю наследственную информацию. Но мы знаем, что при размножении молекула ДНК копируется, копируется очень точно, один к одному. Откуда берутся новые свойства и признаки?

Источников новизны, в общем, всего два. В одном случае новое — результат рекомбинации генов, то есть на самом деле оно вполне старое, просто в необычном сочетании. В другом — в хромосомах действительно возникает принципиально новая информация. Речь идет о мутациях. Слово это известно каждому, и как-то так получается, что большинство людей, не специалистов, именно мутации считает главным двигателем эволюции. Во множестве научно-фантастических романов новый вид, часто свирепый враг человечества, возникает в результате зловредной мутации. На самом деле главная опора эволюции — не мутации сами по себе, а скромное, терпеливое, бесконечное тасование признаков и свойств. Это совсем не такой эффектный процесс, как мутация, в романе он смотреться не будет. Но эволюция не читает романов.

ГЕНЫ, АЛЛЕЛИ И ПОПУЛЯЦИИ

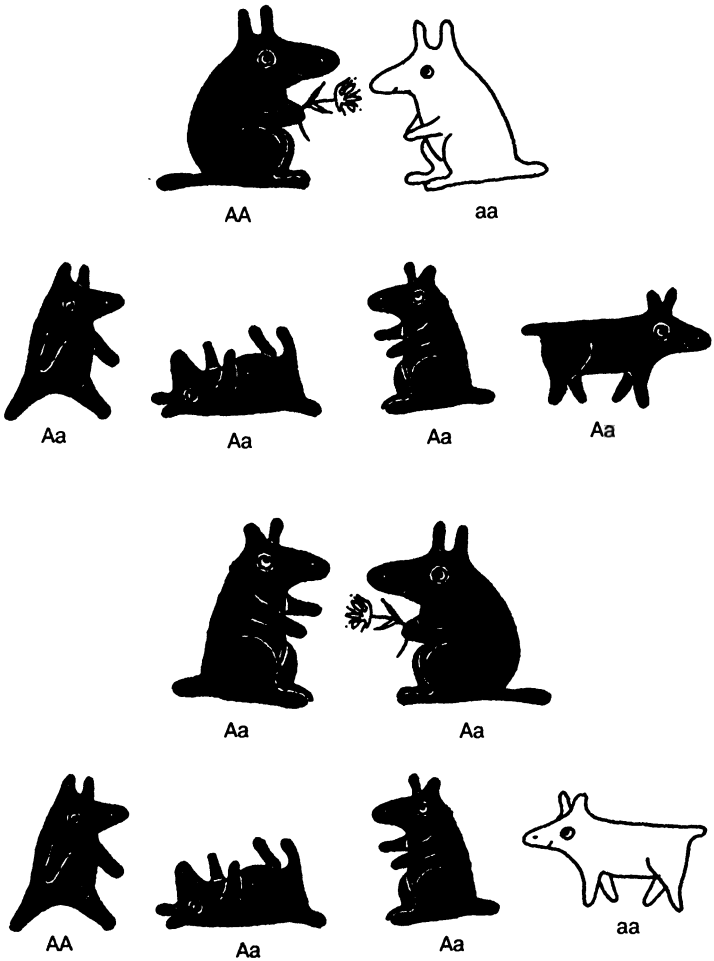
В природе любая достаточно большая группа живых существ, например все тараканы города Костромы, обладает огромным разнообразием свойств. В хромосомах костромских тараканов закодирована масса информации, которая в норме не очень-то заметно и проявляется. Часть признаков может вообще проявляться крайне редко. Признаки постоянно тасуются в результате перемешивания отцовских и материнских хромосом и обмена генами между самими хромосомами. Поэтому среди костромских тараканов можно найти особей с самыми разными сочетаниями признаков и, соответственно, с самыми разными способностями.

Вообще говоря, судьба каждого конкретного таракана очень сильно зависит от игры случая (например, тапка). Но в целом, конечно, более быстрые и более зоркие тараканы будут жить дольше, а значит — оставлять больше потомства. Кажется, всё просто, тараканы должны с каждым поколением становиться все зорче и стремительней. В природе, однако, не существует «гена зоркости» или «гена резвости». Ген определяет синтез определенного белка и ничего больше. Есть, конечно, простые признаки, которые определяются одним геном. Но в большинстве случаев признаки определяются взаимодействием многих генов.

Набор генов, который содержится в ваших или моих хромосомах, называется генотипом. А набор признаков, которыми мы обладаем, —

фенотипом. Зоркость, резвость, сообразительность, рост и умение пить дихлофос — это как раз фенотипические признаки, и часто одному лишь Богу известно, каким сочетанием генов они определяются. Довольно часто случается, что особи со сходным фенотипом могут обладать различным генотипом. Однако давайте пока для простоты считать, что каждому набору свойств соответствует один генотип.

И ещё одно — слово ген при разговорах об изменчивости и эволюции не всегда подходит. Ген — это то, что определяет синтез, скажем, пигмента, окрашивающего лепестки. Но может быть несколько вариантов одного гена, например ген красной и ген белой окраски. Принято называть разные варианты одного гена аллелями. Аллелей каждого гена может быть и одна, и две, и несколько. В двойном наборе хромосом обычной клетки содержится, соответственно, две аллели. Если это аллели одинаковые (например, красные), то говорят, что по данному признаку организм гомозиготен. Если разные (красная и белая) — гетерозиготен. Одна из аллелей может подавлять другую, тогда первая называется доминантной, а вторая рецессивной. Так что жгучий брюнет (а гены темной окраски обычно доминантны) может получить от жгучей брюнетки вполне блондинистого ребенка, если родители гетерозиготны по данному признаку. А вот если у светлой пары родился ребенок с черными глазами и волосами — дело неладно. Поскольку ген светлой окраски рецессивен,



Наследование признаков по одному гену.

При скрещивании гомозиготных особей с доминантными (А) и рецессивными (а) аллелями, в первом поколении все их потомки будут иметь фенотип, соответствующий доминантному аллелю. При скрещивании гетерозиготных особей одна четверть их потомков окажется гомозиготной по рецессивным аллелям. Остальные три четверти будут внешне неотличимы, но генотип у них будет разный: гомозиготный и гетерозиготный.

то блондин должен быть гомозиготен по данному признаку. «Черный» ген не спрячешь, он доминант. Так что и у ребенка ему взяться неоткуда. Если конечно, не произошла мутация.

Ещё одно весьма полезное слово — популяция. В переводе с английского (от лат. populus — «народ») это просто население. Биологи употребляют его в разных смыслах. Но практически всегда речь идет о группе живых существ, населяющих определенную территорию со сходными условиями. То есть все члены популяции подвергаются примерно одинаковым внешним воздействиям. Обычно популяция — это ещё и группа, внутри которой возможно, хотя бы теоретически, спаривание любой особи одного пола с любой особью противоположного. Но масса существ не знает полового процесса. Они все равно могут быть популяцией, если удовлетворяют первому условию. На языке биологов это звучит так: «популяцией, в строгом значении этого термина, принято называть совокупность особей одного вида, которая реагирует на эволюционные факторы как единое целое».

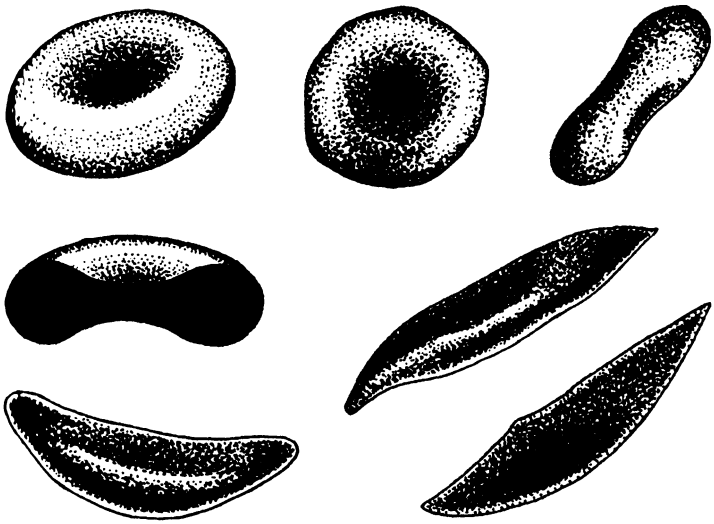
МУТАЦИИ ХОРОШИЕ И ПЛОХИЕ

Подавляющее большинство мутаций вредны. Метаболизм — сложная система взаимодействий и практически любое случайное изменение не несет ничего хорошего. А мутации — вещь в высшей степени случайная и

непредсказуемая. Представьте себе, что вы наугад тычете отверткой во внутренности компьютера. Маловероятно, что таким способом вам удастся его усовершенствовать. Считается, что полезные мутации составляют менее 1 процента всех мутаций.

Природа, однако, не особо заботится об отдельных организмах. Важно процветание вида в целом. А в целом — мутации увеличивают изменчивость в популяции и способствуют выживанию вида. Чем выше изменчивость, тем больше шанс, что при изменении условий в популяции найдутся особи, к этим условиям приспособленные. И тем больше шанс, что популяция при изменении условий благополучно выживет. Ну и кроме того — изменчивость, мутации в том числе, это тот материал, из которого отбор лепит новые виды. Да и вообще, понятие вреда и пользы — штука очень относительная.

Есть такая весьма поганая болезнь — серповидно-клеточная анемия. Это генетическое заболевание, и вызывается оно изменением гена, ответственного за синтез гемоглобина. Совершеннейшая мелочь — в огромной молекуле гемоглобина оказывается замененной одна единственная аминокислота, причем только в одном месте цепочки. Но в результате этот измененный гемоглобин при низкой концентрации кислорода кристаллизуется и эритроцит (красная кровяная клетка) деформируется и разрушается. У людей, гомозиготных по данной аллели, помимо кислородной недостаточ-



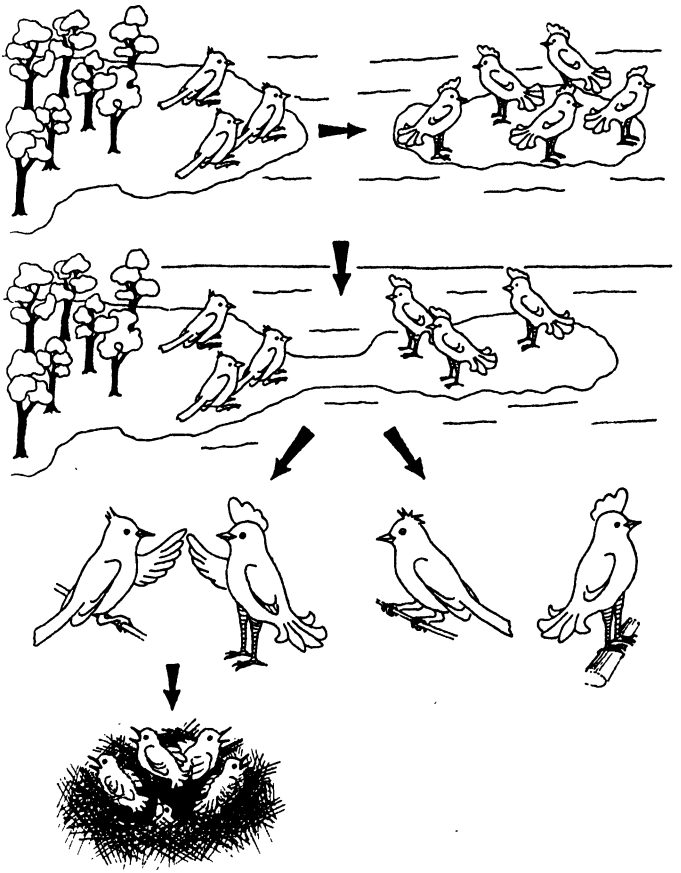
Эритроциты нормальные и серповидные

ности, развиваются болезни сердца, почек и легких, и они умирают в молодости. Очень плохо, да? Но у гетерозигот аномальный гемоглобин составляет меньше половины, эритроциты не деформируются, и дело ограничивается повышенной утомляемостью. Зато такие люди не болеют малярией, поскольку малярийный плазмодий в эритроцитах с ненормальным гемоглобином жить не может. И среди коренного населения многих областей Африки и Южной Азии, где малярия свирепствует издавна, эта мутация сохраняется, и здесь очень высок процент носителей этой аллели. Тропическая малярия — страшная болезнь. И не будь этой мутации, в общем-то вредной, люди во многих районах тропиков вымерли бы давным-давно.

ЭВОЛЮЦИЯ

Теперь, несколько забегая вперед, скажем, что такое эволюция. Вообще, evolutio — латинское слово, означающее развертывание свитка, листание книги, чтение. Само значение слова «эволюция» предполагает, что речь идет о неком постепенном процессе развертывания или развития. Большинство людей, говоря об эволюции, имеют в виду развитие жизни на планете вообще. Взяв в руки учебник биологии, вы узнаете, что жизнь на Земле начиналась с примитивных одноклеточных существ. Эти существа постепенно, от поколения к поколению, на протяжении миллиардов лет изменялись, становились всё более сложными, и в результате от них произошли современные зайцы, георгины, верблюды, ананасы и мы с вами. Это и есть эволюция. В общем, всё правильно. Но профессиональные биологи мыслят несколько более конкретно. Они называют эволюцией любое необратимое изменение наследственной информации, которой владеет вид.

Представьте себе, что небольшая стайка мелких птиц, спокойно летящая вдоль морского побережья, была подхвачена ураганом и унесена на тысячу километров от берега. Такие случаи совсем не такая уж редкость. Стайке повезло, пичуги увидели маленький островок в океане, приземлились и остались в живых. Через какое-то время стайка размножилась, но в результате дрейфа генов (стайка-то невелика) утеряли какие-то аллели. Потом в резуль-



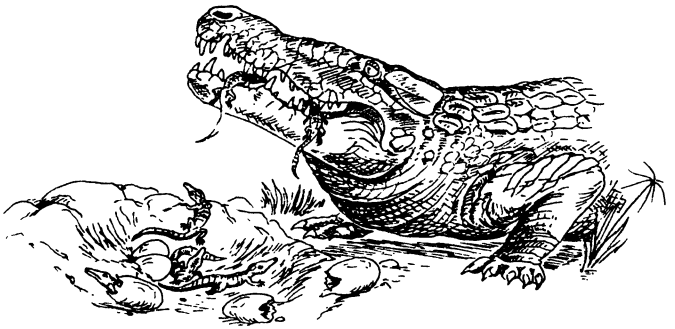
тате рекомбинации возникло сочетание признаков, которое на материке особого смысла не имело, а здесь оказалось полезным. Случилась пара мутаций, пусть даже бесполезных самих по себе, но изменивших взаимодействие генов. Генотип изменился, изменились и признаки строения, изменилось поведение. Затем Господь Бог глянул на старушку Землю, тряхнул её как следует, и между островом и материком

возник перешеек. Птахи встретились со своими предками, которые остались на их, забытой уже, родине. Если изменения признаков зашли так далеко, что родичи или не узнали друг друга (изменилась окраска или ритуал ухаживания, скажем песня), или генофонды оказались несовместимыми — всё, обратного пути нет. Произошла эволюция. Если же спаривание возможно, то генофонд маленькой островной популяции быстренько растворится в многочисленном населении материка. Процесс оказался обратимым, эволюции нет, есть простое изменение частоты аллелей и некоторых генов. Уловили суть? Эволюция — это когда исчезла возможность скрещивания, возникла репродуктивная изоляция. Иными словами, эволюция — это возникновение новых видов, и ничего более.

Поскольку эволюция — это процесс, причем, как правило, неторопливый, то четкой границы между эволюцией и «неэволюцией» тоже нет. Тряхни Господь Землю пораньше, и возможность скрещивания, пусть неполная, но сохранилась бы. Вообще, видообразование — штука очень интересная, и мы ещё поговорим о нем подробней.

ЧТО ТАКОЕ ПРИСПОСОБЛЕННОСТЬ

Хотя мы уже не раз произносили слово «приспособленность» и вроде всем ясно, что оно значит, но понятие это настолько важное, что имеет смысл поговорить о нем подробней.



Самка нильского крокодила с детёнышами

Вот, например, зеленый крокодил, живущий в мутно-зеленой реке Лимпопо. Он быстр, зорок и силен, он таится в засаде, и заметить его невозможно. Он охотится на антилоп, приходящих к водопою, гораздо лучше своих черных и не таких шустрых собратий. Он лучше приспособлен к жизни в Лимпопо, чем они? Но у этого зеленого крокодила есть один маленький дефект — у него плохо развита координация тонких и слабых движений челюсти. Он не может помочь своим детям освободиться от яичной скорлупы и осторожно перенести их из гнезда в безопасный водоем. Это не шутка, нильские крокодилы действительно очень заботливые родители и в самом деле охраняют гнездо, помогают детям вылупиться, относят их в безопасное место, да и там ещё охраняют от многочисленных любителей маленьких крокодильчиков, пока дети не подрастут.

Наш суперкрокодил не оставит потомства, все его гены, обеспечивающие ему зоркость, силу и зеленый цвет, пропадут зазря. Естест-

венный отбор его забракует. Так что такое приспособленность? Приспособленность — это СОЧЕТАНИЕ всех признаков и способностей, причем не обязательно наилучшее в данных условиях, оно может быть просто достаточным. А показателем приспособленности биологи считают число потомков, доживших до половой зрелости и оставивших, в свою очередь, больше потомков, чем дети соседа. То есть приспособленность организма определяется числом его детей, внуков и правнуков. Никакого другого способа оценить приспособленность нет. Биологи называют это итоговой приспособленностью.

Таким образом, приспособленность с точки зрения естественного отбора — это способность гена сохраняться из поколения в поколение. Приспособленность к охоте — тоже приспособленность, но другая. Это, так сказать, частная приспособленность. В русскоязычной биологической литературе приспособленность организма (или его отдельной части) к выполнению определенной работы чаще называют приспособлением, или адаптацией. Но строгих правил тут нет, так что каждый раз нужно хорошо понимать, о какой приспособленности идет речь.

Очень часто приспособленность может увеличиваться в самом деле за счет единственного признака. Если все крокодилы Лимпопо, в общем, по своим способностям равны, но некоторые из них лучше маскируются, то эти крокодилы действительно получат преимуще-

ство. Но ещё чаще невозможно определить вклад конкретного признака в итоговую приспособленность. Поэтому, когда речь идет об отборе тех или иных признаков, это обычно условность. Предполагается, что по остальным своим способностям члены популяции приблизительно равны.

Эволюционисты пользуются словами, которые кажутся понятными всем — естественный отбор, выживание наиболее приспособленных, борьба за существование. Быть может, поэтому после появления теории эволюции о ней принялись рассуждать все, кому не лень. Дарвин, кстати, в своих книгах чуть ли не через страницу предупреждал, что эти слова употребляются в метафорическом смысле, и разжевывал их истинное значение. Не помогло. За теорию Дарвина с восторгом ухватились экономисты, социологи и просто любители поразмышлять после обеда о смысле жизни. Теорию начали применять «в лоб» к общественной жизни человека, где она, кстати сказать, в таком «лобовом» виде практически не работает. Борьбу за существование представляли как драку за кусок хлеба, а самым приспособленным признавался тот, кто сумел больше остальных нахапать. Очень удобная позиция, и совесть не мучает — ничего не поделаешь, эволюция. С точки зрения квалифицированного зоолога — бред сивой кобылы. Приличные социологи это, кстати, тоже понимали.

Чтобы понять суть эволюции, очень важно уяснить, что, во-первых, внутри вида (или

популяции) не бывает «плохих» и «хороших» или «продвинутых» и «примитивных» особей. Есть более приспособленные и менее приспособленные, причем, как вам станет ясно из следующей главы, стоит слегка измениться внешним условиям, и вчерашние «приспособленные» становятся «неприспособленными». Абсолютно приспособленных особей не может быть в принципе.

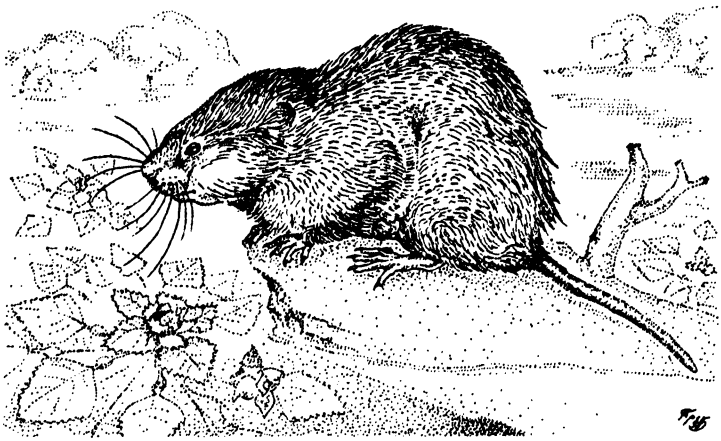
КУДА ВЕДЕТ ОТБОР

Любой вид живых существ — это поле боя двух противоположных сил. Рекомбинации и мутации изо всех сил стремятся увеличить разнообразие свойств — увеличить изменчивость. Кроме того, популяции, и даже виды в целом, редко бывают ну совсем уж наглухо изолированы друг от друга. В любой почти популяции время от времени, а порой и весьма часто появляются пришельцы из других популяций. Поскольку предки этих пришельцев несколько поколений жили в других условиях, то пришельцы могут принести аллели (или мутации аллелей), которые в этой местности редки или даже совсем отсутствуют. Иногда, особенно между близкими видами и особенно у растений, случаются и межвидовые скрещивания. Такие «незаконные» браки тоже приносят в популяцию новый генетический материал. Эта штука называется потоком генов, и она тоже работает на увеличение изменчивости.

С другой стороны выступают дрейф генов и естественный отбор, которые эту изменчивость уменьшают. Дрейф генов — это случайное увеличение или уменьшение (вплоть до полного выпадения) доли какого-то аллеля из-за колебаний численности популяции. Особенно сильно дрейф генов проявляется в маленьких популяциях. С отбором тоже всё понятно, он давит на носителей определенных аллелей (на то он и отбор), снижает частоту этих аллелей и, соответственно, как правило, снижает генетическое разнообразие. Собственно, результат этой борьбы и есть эволюция. Но результат может быть разным, отбор может двигать вид в самых разных направлениях, а может и заставить топтаться на месте.

Нет в мире совершенства! С одной стороны, отбор вроде бы повышает приспособленность вида к конкретным условиям. Но он одновременно снижает изменчивость. А чем ниже изменчивость, тем больше шансов на то, что в случае резкого изменения условий среди членов популяции просто не найдется особей, которые сумеют в новых условиях выжить. Так что жесткий отбор, с одной стороны, повышает приспособленность популяции. И при этом снижает её приспособляемость, то есть возможность реагировать на изменение условий.

Если измерить признаки особей какой-либо популяции, например длину хвоста, чувство юмора или остроту зрения, то окажется, что большинство животных (или растений) обладает средненькими признаками. Чем сильнее признак отклоняется от средней величины,



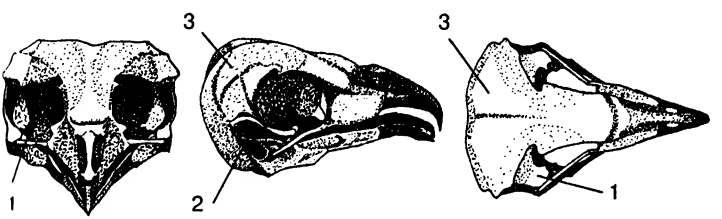
Водяная полёвка

неважно, в большую или меньшую сторону, тем реже такое отклонение встречается. В большинстве случаев отбор «откусывает» от популяции как раз тех и без того сравнительно редких особей, которые уклоняются от золотой середины. В природе действует так называемый «трамвайный закон» — не высовывайся! Возьмем самый простой пример — плодовитость. Самки, скажем, водяной полёвки, которые рождают совсем немного детенышей, оказываются в явном проигрыше по сравнению с самками плодовитыми. Их вклад в последующее поколение полёвок окажется меньше, то есть частота «гена низкой плодовитости» будет все время снижаться. Но очень большой выводок трудно прокормить, детеныши будут мельче и слабее, они будут чаще гибнуть, и вклад очень плодовитых самок окажется тоже невелик. В наиболее выгодном положении

окажутся самки с плодовитостью средней. Это касается любого признака. Та же шерсть, если она очень редкая, то это плохо — холодно. Но слишком длинная и густая шерсть тоже порой ничего хорошего, хотя бы потому, что она будет за всё цепляться.

Первым, насколько известно, сообщил о «трамвайном законе» канадский орнитолог Гораций Бумпус в конце XIX столетия. Как-то в жесточайший мороз он подобрал и притащил домой целую стаю полумертвых воробьев. Выжило из них меньше половины. Из чистого любопытства он измерил у всех воробьев длину тела, длину крыла, цевки, хвоста и клюва. Это стандартные промеры, которые входят в описание любого вида птиц. К собственному удивлению, он обнаружил, что выжившие воробьи имели показатели, близкие к средним для этого вида. А у погибших эти признаки широко варьировали.

Ну а, скажем, острота зрения или скорость бега? Вроде бы, чем лучше вы видите и чем быстрей бегаете, тем лучше. Значит, есть такие признаки, которые отбор всегда будет двигать только в одну сторону? Не всё так просто. Та же острота зрения в первую очередь требует увеличения размеров глаза. Хотя глаза орлов,



Череп совы:

1 — глазницы; 2 — камера среднего и внутреннего уха; 3 — мозговая коробка

сов или кошек не кажутся такими уж большими, но на самом деле это разрез век у них небольшой. Само же глазное яблоко у остроглазых животных огромное. А чем больше глазное яблоко, тем меньше развиты челюстные мышцы. Для них просто не остается места. И располагаться им приходится «неудобно», чтобы дать место глазу. Значит, чем лучше зрение — тем слабее челюсти.

Отбор уничтожает не только анатомические, так сказать, крайности. Он не любит крайностей и в поведении. Хорошо известно, что у многих животных жертвами хищников становятся в первую очередь те, кто занимает в сообществе самое высокое и самое низкое положение. Изгои гибнут потому, что у них нет хорошего постоянного убежища, потому, что они вынуждены кочевать постоянно с места на место, потому, что их вытесняют из мест с хорошим кормом и они вынуждены много времени тратить на поиски пищи, вместо того чтобы сидеть себе спокойненько в норке и наслаждаться жизнью. Но и баловням фортуны не проще. Прежде всего потому, что лидер должен постоянно поддерживать свое лидерство. Он должен изгонять со своей территории чужаков, показывать кузькину мать подчиненным, постоянно демонстрировать самкам, какой он могучий и непобедимый. Так что времени на то, чтобы сидеть в норке, у него тоже не очень много.

Отбор, который благоприятствует среднему состоянию признаков, называется стаби-

лизирующим. И работает только в сравнительно стабильных условиях. Но вот условия изменились. Скажем, резко повысилось количество корма. Животные получили возможность благополучно выкармливать помногу детенышей, большие выводки теперь прекрасно выживают. Отбор перестал давить на самок с повышенной плодовитостью, но ещё сильнее давит на самок с низкой. Средняя плодовитость популяции начала увеличиваться. Это уже направленный отбор, смещающий признаки в одну сторону. И он будет работать до тех пор, пока плодовитость не придет в соответствие с новыми условиями. Тогда он снова превратится в отбор стабилизирующий.

Один из самых ярких примеров направленного отбора — изменение окраски березовой пяденицы в Англии. Эта ночная бабочка день проводит сидя на стволах деревьев. Окраска — светло-серая, с темными крапинками — делает её на покрытых лишайниками стволах совершенно незаметной. Первые черные экземпляры пяденицы были найдены в середине XIX столетия в окрестностях Манчестера. А уже в начале XX века черные бабочки составляли здесь почти 98% популяции. Ещё через пятьдесят лет светлых бабочек во всех промышленных районах Англии почти не осталось. Главную роль в отборе сыграли птицы. Специальные эксперименты показали, что в чистом лесу, где стволы покрыты не копотью, а лишайниками, птицы за несколько дней выедают всех черных бабочек, и лишь

Берёзовая пяденица: чёрная и белая формы

изредка им удается найти светлых. В промышленных районах — все наоборот.

Существует ещё и третий вариант отбора — дизруптивный, или разрывающий. Это когда существа с крайними значениями признака получают преимущество перед «середнячками». Есть случаи, когда в одной местности обитают разные формы одного и того же вида и, очень может быть, возникновение этих форм как раз и есть результат разрывающего отбора. Например, в Южной Африке один из видов бабочек-парусников имеет несколько форм, отличающихся по окраске. Встречаются эти формы в одних и тех же местах, и каждая форма «подражает» одному из ядовитых видов бабочек из этой же местности. Вообще, такое подражание

Ядовитая бабочка Amaurus niavius — модель для подражания

очень полезно, но только в том случае, если подражателей значительно меньше, чем ядовитых образцов для подражания. Если наоборот, то хищник просто не поймет, что таких бабочек надо избегать. Ну, попадаются среди них изредка вонючие, но большинство-то вкусные. Так что подражать сразу нескольким видам очень выгодно. Встречаются здесь и бабочки с промежуточной окраской, ни то ни се, но редко. Поскольку бабочки «ни то ни се» выедаются

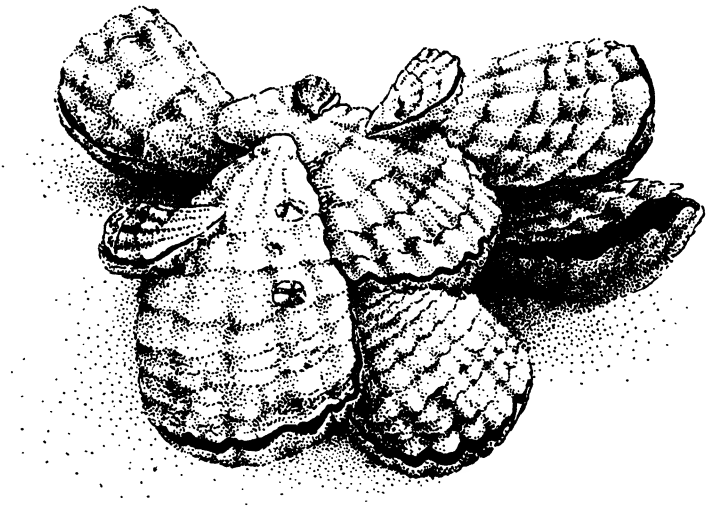
Самка неядовитой бабочки Papilio merope, подражающая ей

хищниками гораздо чаще, чем «подражательницы», то очень может быть, что мы имеем дело с дизруптивным отбором. Разрывающий отбор — это тот единственный случай, когда отбор увеличивает изменчивость.

Склонность животных и растений походить на ядовитые, опасные или несъедобные вещи носит название мимикрии. Впервые обратил внимание на это явление английский натуралист Генри Уолтер Бейтс, современник Дарвина и близкий друг Альфреда Уоллеса. Он много лет исследовал дебри Амазонки и именно здесь заметил, что безобидные бабочки часто похожи на ядовитых. Это явление получило название «бейтсовской мимикрии». Распространена мимикрия очень широко, не только среди бабочек. Существует ещё «мюллеровская мимикрия», которую обнаружил немецкий зоолог Фриц Мюллер. Это когда несколько ядовитых видов похожи друг на друга. Хищникам не нужно заучивать множество разных предупредительных сигналов, и это очень способствует их скорейшему обучению.

СТРАТЕГИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ

Коль скоро отбор оценивает нас по количеству выживших потомков, то, при прочих равных условиях, чем больше потомков вы произведете на свет, тем больше шансов, что отбор обратит на вас внимание. Существуют на свете организмы, которые производят сотни тысяч и миллионы потомков. Число семян, которые разбрасывает за свою жизнь ель или берёза, трудно подсчитать. Устрицы выбрасывают в воду миллионы яиц, а треска — мил-



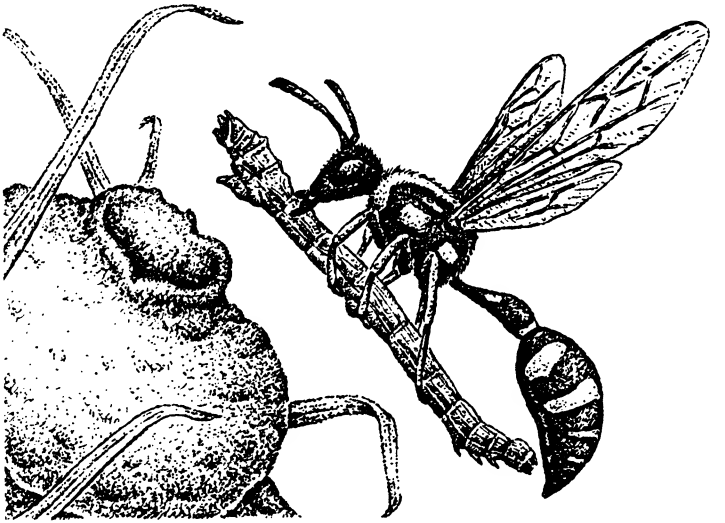
Устрицы

лионы икринок. Принято считать, что треска, или устрица, или береза не заботятся о своих потомках. Простите, но как это, не заботятся? Чтобы произвести на свет такое количество икринок, нужно «отдать» им очень много сил и энергии, которую вполне можно было бы использовать для устройства личного благополучия, для собственного роста, накопления жировых запасов, да мало ли для чего ещё. Многие виды лосося, например, в течение долгих лет растут, копят силы, чтобы выложить их один-единственный раз в жизни — подняться в верховья родной реки, устроить гнездо и отметать икру. После этого лосось гибнет, он вложил в потомство столько, что самому ничего не осталось. Такой самоубийственный способ размножения отнюдь не

редкость. Кстати, и многие растения цветут и плодоносят раз в жизни.

Индивидуальная приспособленность каждого отдельно взятого малька трески или личинки устрицы ничтожно мала (не забывайте, речь идет об итоговой приспособленности). Из миллионов до половой зрелости доживают единицы. Кто выживет, кто умрет — дело случая, удачи. Но выжив, этот бывший малек снова производит миллионы потомков. А поскольку и треска, и лосось, и устрицы вымирать пока не собираются, значит, их итоговая приспособленность вполне удовлетворительна. Она ничуть не меньше, чем у нас с вами. Из потомства каждой пары людей выживает в среднем два ребенка. Из потомства каждой пары лососей тоже выживает две рыбки. А каким способом это достигается, отбору, право, всё равно. Способы же эти могут быть разными. Можно произвести не миллион икринок, а только десять. А сэкономленную на этом деле энергию употребить на то, чтобы эти икринки охранять. Можно охранять и подросших мальков, кормить их и учить уму разуму, пока они не подрастут настолько, что сами смогут о себе заботиться. Ваш вклад в потомство остается одинаковым, просто вы его по-разному используете.

Один из способов повысить приспособленность потомка — выращивать его в родительском теле до тех пор, пока он не станет способен постоять за себя. Именно таким способом возникает живорождение. Живорождение свойственно не только млекопитающим. Существу-



Пилюльная оса несёт парализованную гусеницу в гнездо из глины

ют живородящие рыбы (например, многие акулы), существуют живородящие амфибии и рептилии (например, обыкновенная гадюка). Существуют даже живородящие растения (скажем, многие виды луков размножаются не семенами, а развившимися из этих семян прямо на родителях луковичками). Снабдить потомка большим запасом питательных веществ — ещё один способ. Крупные, маслянистые семена ореха или подсолнечника, крупные икринки лосося, яйца черепах и змей как раз и содержат такие запасы. А многие осы откладывают маленькие яички, но оставляют рядом с ними в норке парализованных жуков, пауков или кузнечиков — запас для личинок. Найти подходящее место, где яйца будут в

безопасности, выкопать нору для яиц — это всё тоже вклад в потомство.

У животных с развитым мозгом есть ещё один способ увеличить приспособленность потомства — воспитание. У таких животных приспособленность определяется не только их строением, но и личным опытом, знанием, как себя вести в разных ситуациях. Часто это гораздо важнее простой силы, быстроты или теплой шерсти. И родители передают накопленные ими в течение жизни знания потомкам. Обучение может продолжаться много лет. И это тоже вклад в потомство. А многие животные, особенно живущие стаями и семьями, продолжают учиться друг у друга всю жизнь.

Стратегия массового выброса потомков обычно выгодней в непостоянных, непредсказуемых условиях. А их индивидуальное выращивание — в условиях стабильных. Поэтому отбор на плодовитость идет не только в зависимости от количества корма, но и в зависимости от устойчивости кормовой базы и других условий. Разброс множества мелких потомков — кто-нибудь да выживет — называется r-стратегией. Забота о немногих крупных отпрысках носит название К-стратегии. Понятно, что все относительно. Если сравнивать лосося с акулой, то лосось будет r-стратегом, а акула К-стратегом. Но если сравнивать акулу с медведем, то она окажется уже r-стратегом. Уклонения в сторону той или иной стратегии наблюдаются даже в пределах одной популяции.

ЭВОЛЮЦИЯ КУЛЬТУРЫ

Культура — это не только умение пользоваться вилкой, сморкаться в носовой платок и рассуждать о музыке. Культурой называется вся совокупность знаний, умений и навыков, накопленных отдельной группой живых существ. Умение вести себя в обществе — тоже элемент культуры, но только один из многих. Культура повышает приспособленность особи, она наследуется, передается из поколения в поколение, но в ДНК склонность пользоваться носовым платком или умение изготавливать каменные топоры не закодированы. Если элементы культуры повышают (или понижают) приспособленность особи, значит, культурные признаки, во-первых, должны подвергаться естественному отбору. Во-вторых, коль скоро культура определяет приспособленность и подвергается естественному отбору, она должна эволюционировать. Но эволюционирует культура не в соответствии с современной теорией эволюции, а так, как представлял себе эволюцию Жан-Батист Ламарк.

Прежде всего, передаются из поколения в поколение именно те признаки, которые особь приобрела в течение жизни, и их наследование никак не подчиняется законам генетики. В формировании культуры большую роль могут играть заимствования из других культур, то есть возможен интенсивный «боковой» перенос информации от одного вида к другому. И, самое главное, изменение старых и появление новых

признаков часто возникают на основе внутреннего стремления особи, того самого «напряжения чувств», за которое так старательно топтали Ламарка современники и потомки.

Культура — отнюдь не то, что свойственно исключительно человеку. Все животные с приличным мозгом, использующие К-стратегию размножения и передающие потомкам опыт свой и своих предков, все они обладают тем самым определенной культурой. Примеров культурной традиции у животных множество. Пение птиц — самый хорошо известный и изученный. У многих видов молодые самцы учатся всяким коленцам и выкрутасам песни у почтенных патриархов. Песня одного вида в разных районах может различаться до такой степени, что взрослые самки из одной местности просто не воспринимают самцов из другой как сородичей. Но если самец (или самка) в молодости попали из родных мест в чужие, они прекрасно обучаются местному «диалекту». Похоже, что это может касаться не только песни, но и сигналов тревоги, и сигналов о нахождении корма. У волков в стае из поколения в поколение передаются всякие хитрые приемы охоты. Поэтому там, где волков не уничтожают и преемственность поколений сохраняется, ни одна стая не похожа на другую, у каждой свои места охоты и свои коронные приемы. Когда несколько десятилетий назад в Карелию начал проникать с юга дикий кабан, волки некоторое время не могли успешно на него охотиться. Из крупного зверя ка-

Соловей

рельские волки были знакомы только с лосем, а кабан требует совсем других приемов охоты, которые волкам не были известны и которые выработались только постепенно.

Непосредственно наблюдать эволюцию культуры и возникновение новых культурных элементов удавалось зоологам не раз и не два. Так, например, в Англии, где молочники развозят молоко рано утром и ставят бутылки на порог клиентов, в середине XX столетия появились гениальные синицы, которые научились бутылки открывать. Навык был стремительно подхвачен их менее гениальными сородичами, и вскрытие бутылок приняло характер нацио-

нального бедствия. Российские синицы, кстати, ничуть не глупее. Когда у российского населения появилась манера хранить зимой продукты вывешенными за форточку, синицы мгновенно разобрались что к чему и научились вскрывать самые разные упаковки.

Ещё более подробно изучена эволюция культуры у приматов.

Вскоре после Второй мировой войны два японских исследователя, Миияди и Иманиси, занялись изучением общественной жизни японского макака. Эта обезьяна живет на юге Японии в диком состоянии и образует отдельные стада, точнее — общества, которые слабо контактируют друг с другом. Результаты исследований японцев довольно долго оставались неизвестными в Европе, а когда стали известны — произвели эффект разорвавшейся бомбы. Общественная организация обезьян оказалась очень сложной и интересной.

Стадо, за которым велись наблюдения, обитало в малонаселенной местности, но когда через несколько лет результаты исследований просочились в японскую прессу, появились и любопытствующие посетители. Ну какой посетитель удержится от того, чтобы не предложить обезьяне конфету? Дикие обезьяны с конфетами дела не имели, не умели их разворачивать и вообще поначалу не знали, что это вкусно. Порядки в стаде царили жесткие, чтобы не сказать — жестокие. Высокопоставленные макаки относились к подчиненным грубо и всегда с высоты своего положения. Непривычная

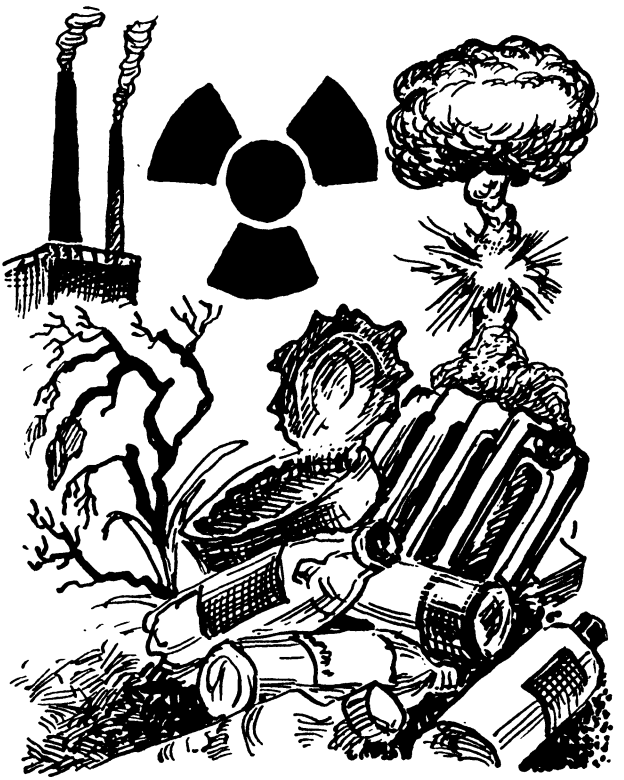
пища считалась недостойной главарей, её подбирают только низшие, а самыми низшими в стаде были маленькие дети. Именно они первыми открыли, что конфеты — это здорово, и научились их разворачивать. От детей научились обращаться с конфетами их матери. Когда наступает период размножения, самки на последних стадиях беременности перестают присматривать за подросшими детьми, эту обязанность берут на себя взрослые самцы. Очень постепенно и они научились от своих отпрысков есть конфеты. Позже всего новшество дошло до молодых самцов, которых взрослые изгоняют на «задворки общества». Чтобы традиция есть конфеты распространилась во всем стаде, потребовалось почти три года. С тех пор, уже много лет, дикие макаки прекрасно разбираются в конфетах, знание передается из поколения в поколение. Элементами культуры, как выяснилось, являются и взаимоотношения в обществе. Далеко не во всех стадах макак царят суровые нравы. И там, где вожаки относятся к подчиненным мягче и дружелюбней, распространение нового культурного элемента произошло в течение всего двух-трех месяцев! То есть более «демократичное» общество обезьян способно перестраиваться согласно изменениям условий быстрее и успешнее, чем общество «тираническое».

Другой случай у тех же японских макак вполне можно сравнить с изобретением человеком каменного топора. Макаки часто совершали набеги на поле батата. Выкопанный

батат, как и выдернутая с грядки морковка, весь в песке, есть его невкусно, и обезьяны старательно очищают налипшую землю. Одна из молоденьких самок, случайно уронив батат в море (стадо жило на побережье), обнаружила, что в воде земля отходит лучше. И она начала бататы мыть! Это была, вне всякого сомнения, совершенно гениальная самка, ведь и до этого тысячи обезьян тысячу раз роняли бататы в воду. И точно так же, как и в случае с конфетами, навык распространился и вошел в культуру — вскоре все макаки этой группы стали мыть клубни.

Невозможно удержаться и не рассказать, что было дальше. Та же самка, только уже в более почтенном возрасте, сделала ещё одно гениальное открытие. Обезьян подкармливали зерном, просто бросая пригоршню-другую на песок пляжа. Животные выбирали зерна из песка и были вполне счастливы. Наша самка через некоторое время сообразила сгребать в пригоршню зерно вместе с песком и бросать в воду. Песок тонул, зерно всплывало, самка собирала его с поверхности одним движением и отправляла в рот полную горсть чистого зерна. Не слабо? И этот навык тоже вошел в культуру стада и начал передаваться из поколения в поколение.

ЭКОЛОГИЯ



Что такое экология
Что такое экосистема
Колыбель жизни?
Мать сыра земля
Незаметные труженики
Степи, леса и пустыни
Лови мгновение
Почетная профессия мусорщика
Силы быстрого реагирования
Рубки ухода
Польза стресса
Смена курса
Возрождение из пепла
Биосфера
Биосфера и человек
Взгляд назад

ЧТО ТАКОЕ ЭКОЛОГИЯ

Термин «экология» введен в научный обиход Эрнстом Геккелем в 1866 г. Экология — это наука, изучающая взаимоотношения организма со средой его обитания, в том числе взаимоотношения с другими организмами. Экос (или ойкос) по гречески — дом. Однако ойкос — это не только дом или место жительства. Существует ещё одно слово, производное от этого корня, — ойкумена. Для древнего грека ойкумена — это населенный и познанный людьми мир. За пределами ойкумены — земля, населенная чудовищами, титанами, богами, человеку неподвластная. А логос — это не только слово, но и движущая сила, закон. Таким образом, экология это не только наука о доме (о среде обитания), но и закон обитаемого мира.

Изучение состава пищи водяной крысы, способов поиска и запасания корма — это экология. Изучение размножения этой крысы, изменений её численности, зависимости численности от высоты весеннего паводка — тоже экология. Пути и способы приспособления белого медведя к жизни в Арктике (а значит, и изучение его физиологии, генетической изменчивости и факторов естественного отбора) — это тоже экология. Влияние мелких насекомоядных птиц на численность гусениц, влияющих на густоту листвы, влияющей на освещенность под пологом леса, влияющей на состав травяной растительности, влияющей на численность грызунов, от которых зависит

Сфера интересов экологии

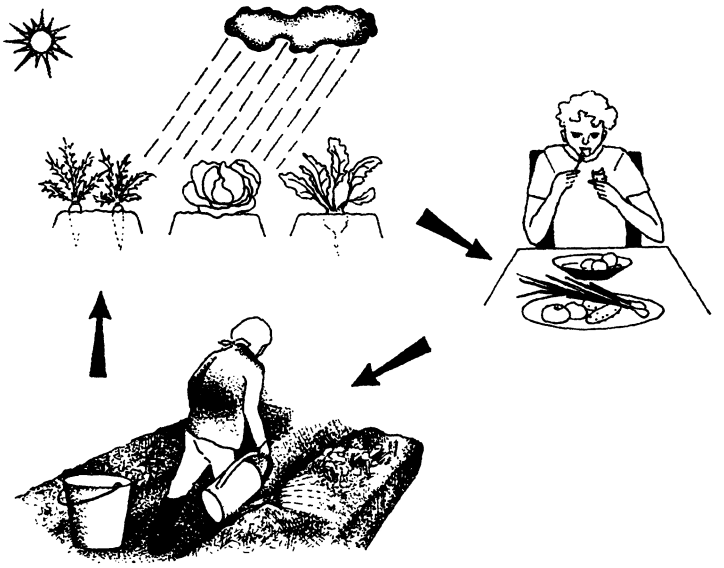
благополучие диких котов, разоряющих птичьи гнезда, — и это экология. Влияние дождевых червей на химизм почвы и её способность к поглощению влаги или влияние зеленых

растений на состав атмосферы — экология. Поэтапное преобразование горных пород, газов атмосферы и солнечной энергии в массу органического вещества — опять экология. Как сказал Эйман Макфедьен, «эколог самовольно бродит по владениям ботаника и зоолога, систематика, физиолога, зоопсихолога, метеоролога, геолога, физика, химика, и даже социолога; он браконьерствует во всех названных и во многих других почтенных дисциплинах».

ЧТО ТАКОЕ ЭКОСИСТЕМА

В самом широком смысле это комплекс организмов, обитающих на определенной территории и связанных совместным преобразованием вещества и энергии, причем в этот комплекс как неотъемлемый компонент входит и сама эта физическая (или, как говорят экологи, абиотическая) среда. Таким образом, экосистема имеет в себе и «живой» и «неживой» компоненты.

Один из самых простых и наглядных примеров экосистемы — огород. Огород — это земля, вода и солнце (физическая среда), плюс растения (овощи), плюс человек. Овощи формируют свою плоть из вещества и энергии физической среды. Человек, поедающий эти овощи, возвращает часть съеденного обратно овощам в виде удобрений (по крайней мере, так делают японцы, удобряя свои огороды содержимым туалета), иначе запасы физической



среды будут исчерпаны немногими поколениями овощей, и использует полученную от овощей энергию для разрыхления земли, полива, прополки, посадки очередного поколения овощей. Ни земля, ни овощи, ни человек по отдельности не являются огородом, только все три компонента вместе.

Как и многие другие биологические понятия, экосистема совершенно реальна и в то же время не имеет четких границ. Уж на что, казалось бы, четкие границы имеет озеро. Однако в озеро попадает листва окружающего леса, лес влияет на впадающий в озеро ручей и, при желании, мы можем рассматривать их как одну систему. Красивая небольшая птичка зимородок ловит в озере мелкую рыбешку и, несомненно, популяция зимородка является

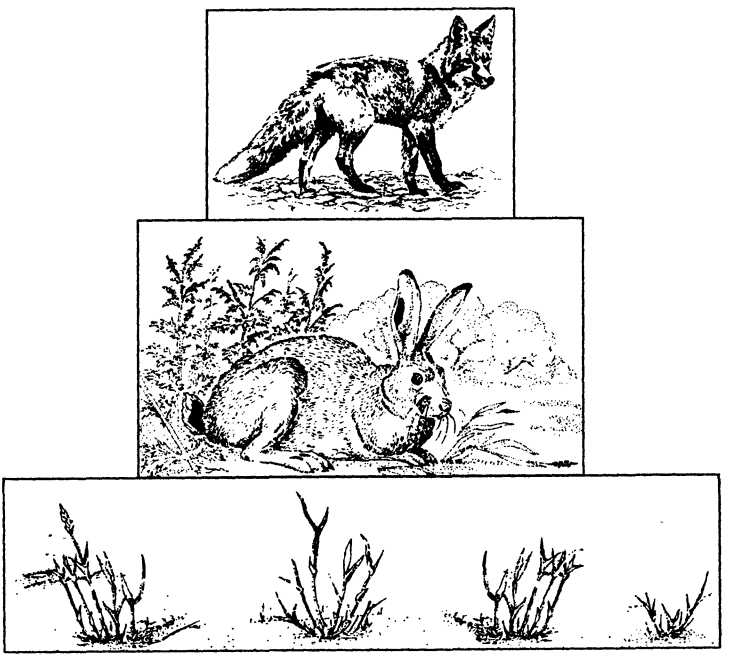
членом озерной экосистемы. Однако гнездится зимородок на берегу, на него охотятся сухопутные хищники, и свой помет он оставляет на суше. К какой экосистеме принадлежит зимородок? Не ломайте голову над этим вопросом и смиритесь с размытостью границ. Но и не сомневайтесь в их существовании. И мы, и зимородки прекрасно отличаем озеро от леса.

Нет на свете такого вида живых существ, который мог бы существовать в одиночку. Казалось бы, зелёным растениям, умеющим фотосинтезировать, никто не нужен: они сами «делают» себе еду из солнечного света и минеральных веществ, превращая неорганические вещества в органические. Однако никто не вечен в этом мире, и когда растение умрет,

Зимородок

или хотя бы сбросит листья, часть минеральных веществ окажется изъятой из оборота — из листьев или отмерших стволов их надо извлечь и снова вернуть в почву. А вот самостоятельно разлагать мертвую органику растения-то как раз и не умеют! В итоге через некоторое число поколений, довольно небольшое, кстати, число, все минеральные вещества окажутся заключенными в трупах отмерших сородичей и станут растениям недоступны.

Вещество и энергия в экосистеме передаются по цепочке: от травы к зайцу, от зайца к лисе. При переходе часть энергии неизбежно теряется, поэтому масса



Пищевая пирамида

лисиц меньше, чем масса зайцев, а масса зайцев меньше, чем масса растений. Поэтому выращивать кукурузу выгодней, чем свиней или коров, а коров или кроликов выгодней, чем, скажем, рысей. Хотя мясо рыси отменно вкусно и в средние века считалось деликатесом.

Нужен кто-то, кто бы мертвую органику разлагал и возвращал в круговорот. Почему Бог, Природа или Эволюция не создали организм, который умел бы делать и то и другое? Наверное потому, что существует закон, такой же непреложный закон, как закон сохранения вещества и энергии — невозможно приспособиться ко всему сразу. Или все способности организма будут очень средненькими (а такому организму просто не выжить в этом жестоком мире), или что-то одно он будет уметь делать намного лучше, чем всё прочее. Совмещение профессий всегда неэффективно.

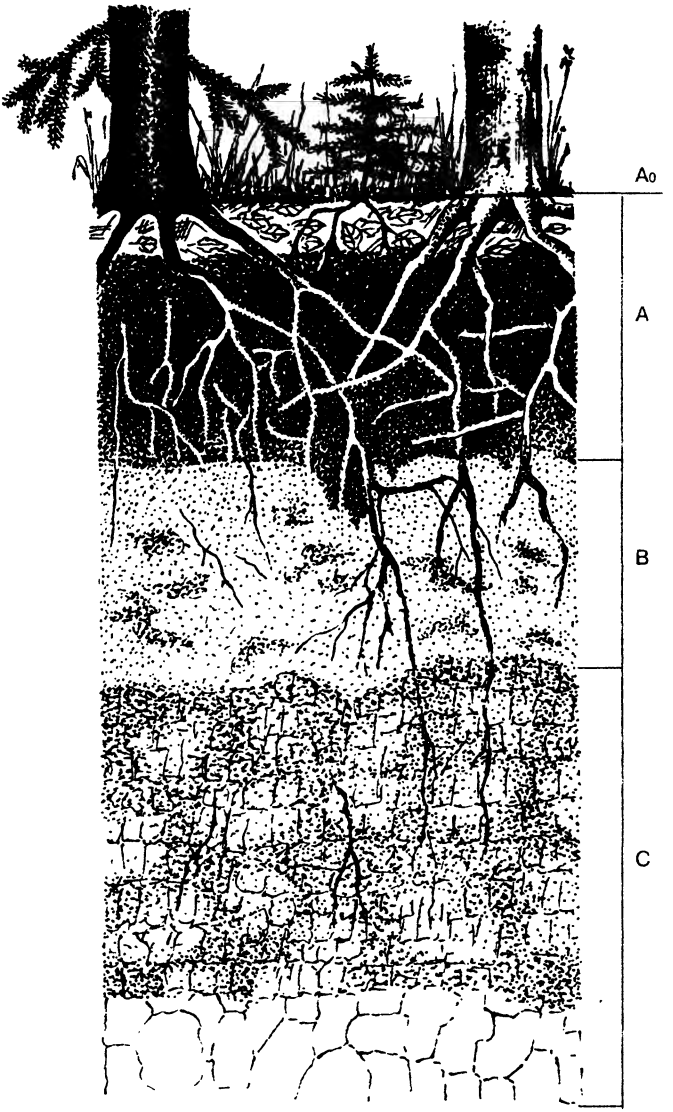
В основе любой экосистемы лежит необходимость синтезировать живое вещество (продукция) и необходимость его разлагать (деструкция). Кроме того, экосистеме, как и отдельному организму, желательно иметь некоторый резерв, «жировой» запас, чтобы не рассыпаться при малейшем ухудшении условий. Есть ещё одна важная работа, без которой экосистема существовать не может, — регуляция и контроль. Что интересно, каждая группа организмов участвует одновременно в нескольких процессах, и это придает системе дополнительную цельность и устойчивость. А как же с неэффективностью совмещения профессий, можете спросить вы. Но дело-то в том, что здесь

специализация идет в разных, непересекающихся плоскостях. Если вернуться к огороду, то ваше здоровое и могучее пищеварение характеризует вас как деструктора. А ваша способность сидеть при прополке грядок часами на солнцепеке и умение отличать ботву морковки от чертополоха характеризует вас как регулятора. Одно другому совершенно не противоречит.

КОЛЫБЕЛЬ ЖИЗНИ?

Когда произносят слово «земля», в воображении обычно встает не наша планета, а теплый комок темного грунта, пронизанный тонкими корешками. Эта земля, почва, важнейшая часть любой наземной экосистемы. Вообще, почва, она в значительной степени «сама по себе». Её изучает особая наука — почвоведение, она рассматривается как особое природное тело, особая система. Почва состоит из частиц горных пород, воды, живых существ (в основном микроорганизмов) и сложных органических молекул — гумусных веществ. Совокупность минеральных «песчинок» и облепляющих их гумусных веществ называется гумусом. Гумус — совместный продукт жизнедеятельности живых существ и сложных химических реакций, идущих в почве.

Далеко не в каждой почве есть гумус. Гумус — «вершина» деятельности деструкторов. Если деструкторов недостаточно или их деятельность нарушена, гумус не образуется,



Строение почвы:

A_0 — подстилка; A — гумусный (перегнойный) горизонт; B — горизонт вмывания; C — материнская порода

он заменяется другими органическими составляющими почвы. Тогда вместо нормальной почвы может возникнуть, например, торф.

Все элементы почвы тесно связаны, то есть почва может рассматриваться как особая экосистема, точнее — особый тип экосистем. Эта экосистема, вероятно, древнейшая экосистема Земли. Принято считать, что жизнь возникла в океане. Но очень может быть, что колыбелью жизни были грунтовые растворы, насыщенные минеральными веществами и органическими продуктами вулканических извержений. И уже оттуда, из грунта, первые формы жизни проникли в океаны. Так или иначе, но почвы (или, по крайней мере, палеопочвы) возникли почти одновременно с возникновением жизни.

Да, многоклеточные организмы появились, скорее всего, на теплом мелководье. Но когда первые растения и животные начали завоевывать сушу, они столкнулись не с мертвой пустыней, а с этим необыкновенным природным телом — почвой.

Современные наземные экосистемы — это сложные конструкции, их разные этажи имеют разный возраст, и всё это здание покоится на фундаменте невообразимой древности — почве. Конечно, не надо думать, что соседний сосновый бор растет на почве, образовавшейся четыре миллиарда лет назад. В каждом конкретном месте почва зарождается, развивается, живет и, рано или поздно, умирает (или перерождается). И современные почвы уже совсем

не те палеопочвы, что возникли на Земле вскоре после формирования твердой земной коры. Хотя бы потому, что надстройка верхних этажей включала перестройку нижних. Но это совершенно не мешает почве сохранять древние черты. Так, в основе навороченного «мерседеса» явственно проглядывает конструкция древней повозки — четыре колеса на двух осях и лежащий на них кузов. И, кстати, древнее далеко не всегда значит примитивное. Иногда наоборот, это значит доведенное до совершенства и прошедшее проверку временем.

МАТЬ СЫРА ЗЕМЛЯ

При смешивании гумусовых веществ с минеральными компонентами почвы образуется гумус — сложная система органических веществ и минеральных частиц. Именно гумус придает почвам темную окраску. Состав и свойства гумуса зависят от химического состава минеральной части почвы, от температуры, от наличия в почве воды и кислорода, от того, какие организмы-гумификаторы могут жить, и живут, в таких условиях. Зависят свойства гумуса и от того, какие мертвые вещества поступают в почву. Гумификация хвои дает совершенно другой результат, чем гумификация луговых трав или дубовой листвы. Кстати, имейте в виду, что почва — это не только «земля». Подстилка — слой отмерших стеблей и листьев — это тоже часть почвы, её верхний горизонт.

Гумус — удивительная субстанция. Гуминовые кислоты — это на самом деле не какие-то определенные органические кислоты, а сложные полимеры, с кольцевыми участками, боковыми цепями, с непостоянным составом и структурой, которые имеют кислую реакцию. Гумусовые вещества «облепляют» и склеивают минеральные частицы, придавая почве комковатую структуру. Некоторые виды гуминовых кислот растворяют минеральные частицы. Огромные сложные молекулы гумусовых веществ удерживают на своей поверхности молекулы воды, сохраняя определенную влажность почвы. Но самое интересное другое. Гумус захватывает из почвенного раствора и удерживает разнообразные вещества. В частности, захватываются и удерживаются гумусом искусственные минеральные удобрения. Если концентрация каких-либо веществ в почвенном растворе увеличивается, гумус активно их захватывает, снижая насыщенность раствора. Если концентрация уменьшается — гумус отдает захваченные запасы, восстанавливая её. Это называется буферными свойствами почвы. И чем больше в почве гумуса, тем больший запас необходимым растениям и микроорганизмам веществ он удерживает, тем больше плодородие почвы и тем труднее такую почву истощить и погубить. Но трудно — не значит невозможно. Сельские хозяева многих стран и народов губят почвы последовательно и весьма успешно. Мало кому приходит в голову, что почва — в сельском хозяйстве такое же сред-

ство производства, как станки, доменные печи или бетономешалки в промышленности. Разница лишь в том, что почвы даются каждому народу Богом или судьбой только один раз, и, будучи уничтоженными, восстанавливаются столетиями. Или не восстанавливаются вообще.

Хотя запасы многих веществ абиотической среды кажутся неисчерпаемыми, существует множество элементов, необходимых для жизни, но присутствующих в экосистеме в весьма ограниченном количестве, в частности микроэлементы. Очень часто именно эти элементы ограничивают массу живого вещества в экосистеме. Тепла, влаги, питательных веществ может быть в изобилии. Но если не хватает, скажем, йода, масса биоты рано или поздно придет в соответствие с доступным количеством именно этого элемента.

НЕЗАМЕТНЫЕ ТРУЖЕНИКИ

Мы как-то привыкли много говорить о роли зеленых растений в жизни Земли и считать их основой основ. Зеленые растения и органические вещества синтезируют, и обеспечивают атмосферу кислородом, и на климат влияют. Однако растения и деструкторы — единое целое. Без деструкторов растения существовать не могут. В наземных экосистемах рабочее место основной массы деструкторов — почва. Почти все деструкторы невелики, многие вообще видны только в микроскоп и жизнь ведут тихую и малозаметную. Но это не делает их менее важными. Общая масса почвенных

грибов и бактерий в среднем по планете — около пяти тонн на гектар. Пять тонн активно работающих живых существ. А кроме грибов и бактерий делом разложения органики занимаются и черви, и клещи, и насекомые. Вся эта тесно связанная между собой компания называется сапротрофами, и о ней стоит сказать несколько слов.

Главные работники деструкционного блока — бактерии и грибы. Они могут разложить всё, включая такие, совершенно несъедобные вещества, как лигнин, целлюлоза и воск. Из лигнина с целлюлозой, если вы помните, состоят стенки растительных клеток. И сухая древесина, и солома, и высохшие опавшие листья состоят чуть ли не целиком из этого крайне прочного сочетания. А воск входит в покровы листьев. Так вот, грибы и бактерии могут разложить всё. Но гораздо быстрее и эффективней они это делают, если опад предварительно измельчить. Сами они сделать этого толком не могут, и размельчением опада занимается целая армия животных. Не надо, впрочем, думать, что всё устроено так просто — одни размельчают опад, другие его разлагают. Цепь превращений мертвой органики устроена весьма замысловато.

Начнем с того, что ни одно здравомыслящее существо не будет ничего измельчать за просто так. Что-то оно должно с этого иметь, часть опада оно должно усваивать, иначе чего ради его жевать? Разрушителей опада можно разделить на несколько категорий.

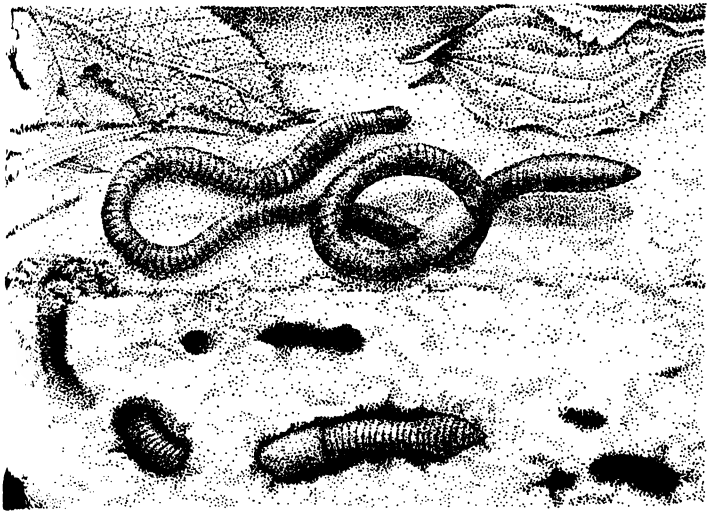
Во-первых, кроме непосредственно разрушителей, есть ещё и «тормошители». Фактически к этой категории относятся все роющие животные. При постоянном рыхлении, перемешивании, измельчении увеличивается доступ кислорода и влаги в разлагающуюся органику, что способствует более интенсивному бактериальному разложению, да и грибы на этом бульончике живут с удовольствием.

Однако кроме того, что животные просто перемешивают субстрат, они могут его и поедать, часть веществ усваивая сами, а часть оставляя на долю «следующей смены». Одни обладают пищеварительными ферментами, разлагающими опад, для них это нормальная пища. Они его заглатывают, предварительно разжевав, усваивают часть, а часть выводят с экскрементами, которые поступают в распоряжение грибов и бактерий. Другие жевать не могут (например, дождевые черви), но под действием их пищеварительных соков травинка или кусочек листа тоже распадаются на части. Третьи переваривать растительные ткани не в состоянии, но жуют и глотают опад не менее охотно. У этой публики грибы и бактерии живут в пищеварительном тракте. Там они благополучно перерабатывают измельченную массу, а то, что из нее при этом получается, уже способен усвоить и их хозяин. Кроме того, этот хозяин переваривает и часть своих помощников. Есть среди поедателей мертвой органики и такие, которые едят опад, но усваивают не мертвые растительные ткани, а только

поселившихся на них грибов и бактерий. Надо сказать, что весьма часто сапротроф способен и сам частично переваривать опад, и пользуется услугами микроорганизмов-симбионтов, и благополучно переваривает проглоченных бактерий и вдобавок с удовольствием ест экскременты других сапротрофов. Найти конец и начало клубка, в который спутана цепочка превращений опада, — занятие не для слабонервных.

Самый известный из сапротрофов — дождевой червь, точнее черви. Только на территории России известно 56 разных видов. Некоторые из них питаются преимущественно опавшими листьями и сухой травой, утягивая их с поверхности в свои норки. Другие просто заглатывают почву, переваривая всё, что в ней есть съедобного. Набор пищеварительных ферментов у дождевых червей — дай Бог всякому. Они, в частности, способны переваривать целлюлозу и хитин, из которого состоят покровы клещей, пауков, насекомых и прочих членистоногих. Поскольку членистоногих в почве хватает, то хватает там и их мертвых шкурок. А кроме того — хитин входит в состав клеточных стенок у грибов. Грибов же в почве вообще по нескольку тонн на гектар.

Выше мы написали, что дождевой червь не может жевать. Это не совсем точно: да, «ртом» он жевать не может, но ведь можно перетирать пищу в других отделах пищеварительной системы. Кроме растительного опада, червь заглатывает и мелкие песчинки, кото-



Дождевой червь

рые, попадая в мускульный отдел желудка, как жернова перетирают и измельчают растительную пищу, которая затем легко переваривается. Замечено, что если дождевых червей кормить одной органикой, без минеральных частиц, то черви начинают голодать.

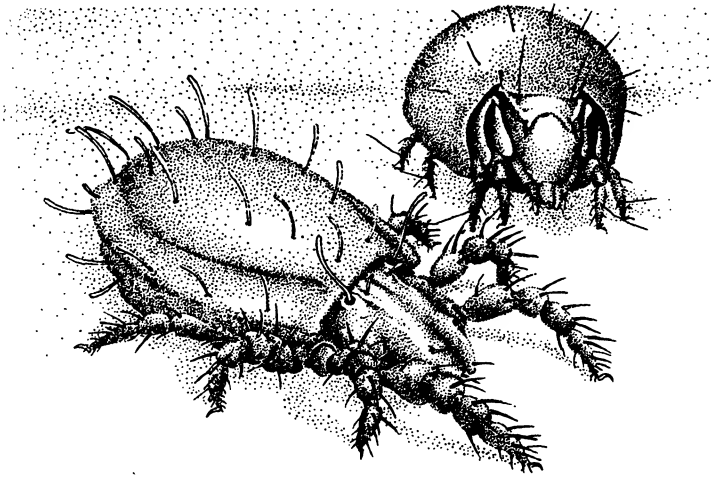
Экскременты червя — идеальный субстрат для многих почвенных микроорганизмов. Кроме того, экскременты выделяются комочками, то есть червь делает почву легкой и рыхлой, проницаемой для воздуха и воды. Кроме того, в их кишечнике, а потом в экскрементах происходит интенсивная гумификация органики.

Дождевые черви трудятся в самых разных типах почв, их можно встретить от тундры до тропиков. Но наиболее велика численность червей в широколиственных лесах и луговых

степях, здесь их до полутысячи на квадратный метр и они пропускают через себя тонны земли — в благоприятных условиях до 5 тонн на гектар в сутки. За несколько лет весь почвенный слой проходит через кишечник дождевых червей.

К северу и к югу численность дождевых червей уменьшается, а в сухих степях и пустынях (как южных, так и полярных) их нет. Но в полярных пустынях и сухих степях дождевых червей заменяют их близкие родственники — энхитреиды. Это тоже кольчатые черви, но гораздо более мелкие, не более двух сантиметров длиной, а чаще не более одного сантиметра. В полярных пустынях, в сухих степях и в заболоченных почвах численность этих червяков достигает полутора сотен тысяч на квадратный метр. Однако поскольку они мелки, результаты их работы намного скромнее, чем у дождевых червей.

Огромную роль в почвообразовании играют мелкие клещи, в основном из группы орибатид — панцирных клещей. Если у вас с глазами всё в порядке, то увидеть взрослого панцирного клеща вы сможете. Но чтобы рассмотреть его — без микроскопа не обойтись. В лесах численность орибатид достигает фантастических величин. В верхнем пятисантиметровом слое лесной почвы может насчитываться до двух миллионов этих клещей. Мы привыкли, что клещ — сосущий паразит. Но орибатиды не паразиты, и ротовые органы у них жующие. Они частично переваривают опад напрямую,



Панцирные клещи, или орибатиды

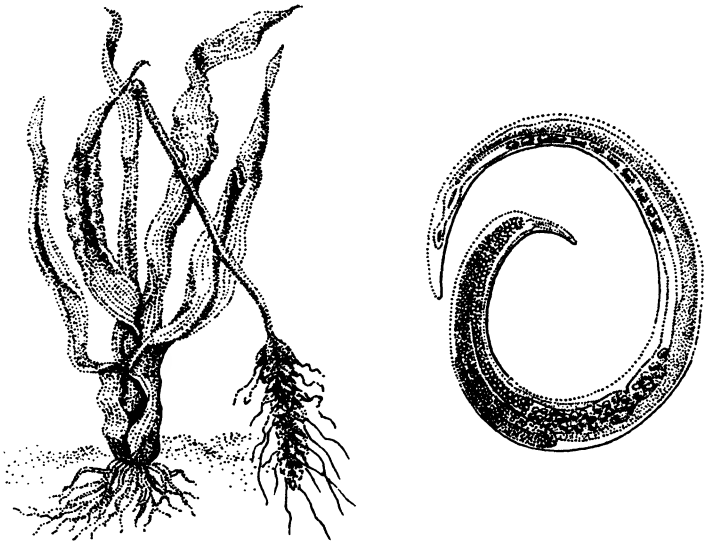
причем способны питаться хвойным опадом, что среди животных — исключительная редкость. Кроме того, они пользуются услугами микроорганизмов-симбионтов, обитающих в их кишечнике. Но всё-таки основной пищей орибатид являются грибы, бактерии и микроскопические водоросли, которых в почве множество. Как и дождевые черви, орибатиды наиболее многочисленны в лесах, хотя их хватает и в тундрах, и в сухих степях, и в пустынях.

Ещё одна многочисленная и весьма важная группа сапротрофов — коллемболы, они же ногохвостки. Эти мелкие шестиногие создания, близкие родичи насекомых, буквально кишат во мху тундр, болот и северных лесов. Основа питания коллембол — опад, тронутый грибным и бактериальным разложением. Усваивать мертвые растительные ткани напрямую

Коллембола

они не могут, им нужна помощь грибов и бактерий. И сами помощники поедаются и перевариваются весьма энергично, так что коллемболы вдобавок служат ещё и регуляторами видового состава микроорганизмов. Кроме того, в результате деятельности коллембол активизируется развитие все новых бактерий и грибов, нарушается физическая целостность опада, что опять же ускоряет деструкцию. Коллемболы есть повсюду, включая жаркие пустыни. Но вообще они — северяне. Коллемболы способны питаться при температурах чуть выше нуля и наиболее многочисленны в тундрах и полярных пустынях.

Ещё одна ведущая группа сапротрофов — круглые черви — нематоды. Большинство нематод удается увидеть только под микроскопом, и численность их не меньше численности панцирных клещей, а по общей массе во многих почвах это доминирующая группа, уступающая только грибам и микроорганизмам. Нематоды не едят растительный опад — это истребители бактерий, грибов и водорослей. Некоторые нападают и на корни живых растений. Хищничество нематод ускоряет оборот



Нематода пшеничная — паразит пшеницы

вещества, и, кроме того, они регулируют видовой состав грибов и бактерий.

К сапротрофам также относится множество насекомых, главным образом, на стадии личинок. Основные группы насекомых-деструкторов: термиты, тараканы, жуки и мухи. Бок о бок с ними работают многоножки-кивсяки, мокрицы (это уже ракообразные) и моллюски.

СТЕПИ, ЛЕСА И ПУСТЫНИ

Как мы уже говорили, для существования любой экосистеме нужны три основных блока — продукционный, деструкционный и регуляторный. Не забывайте только, что это

принципиальная схема, границы между блоками — это границы между функциями, а не между организмами. Теоретически, конечно, отдельный вид живых существ (точнее, популяции этого вида) может входить только в один блок. Как бы такая ситуация облегчила жизнь ученым! Но в реальности всё намного сложнее и запутаннее.

Например, дождевой червь — работник деструкционного блока. Но он также проделывает скважины в почве, обеспечивая доступ воды и воздуха в её толщу, а это уже скорее функция регуляторная. Лесной древостой, несомненно, входит в блок продукционный. Но кроны деревьев, затеняя почву, регулируют её температуру и влажность. А выделения корней влияют на разложение органики и поставляют углеводы деструкторам-грибам, то есть дерево работает по совместительству и в деструкционном блоке. Вообще, регуляторные механизмы пронизывают всю экосистему сверху донизу (и изучены пока плохо), но вот два основных производственных процесса — продукция и деструкция — в наземных экосистемах довольно четко разобщены в пространстве. Деструкция идет главным образом в почве, а продукция — наверху, на свежем воздухе. Что же касается запаса на черный день, то его экосистема может откладывать в разных местах. И от того, где хранится этот запас, зависят многие особенности устройства экосистемы.

Большинство наземных экосистем относится к одному из двух основных типов: это или

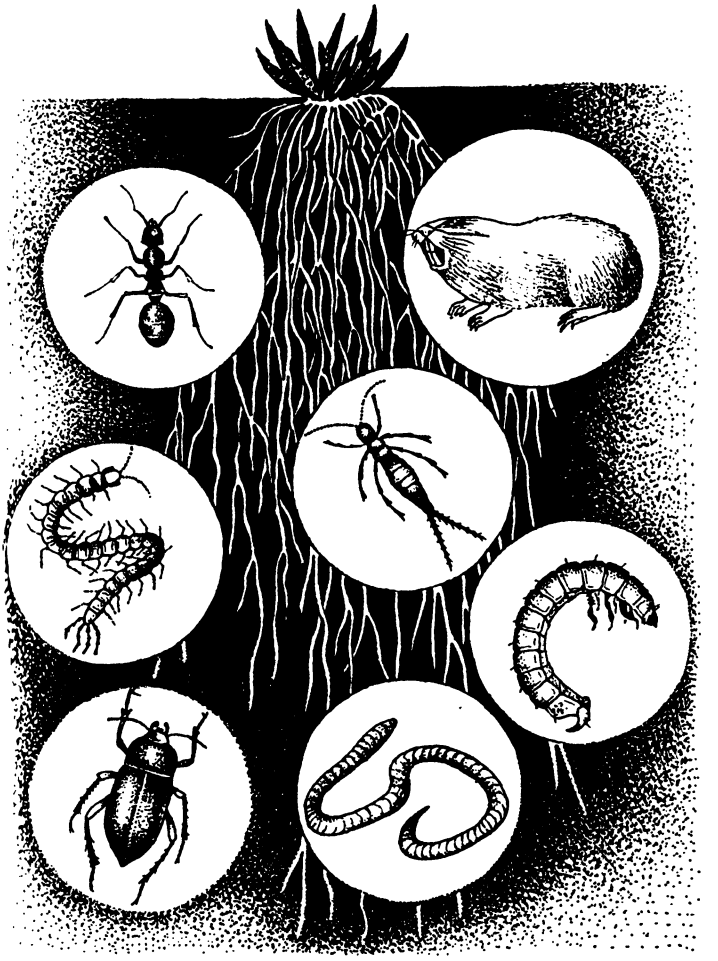


Схема организации «степной экосистемы»

«леса», или «степи». В степях все, или почти все, запасы спрятаны под землей, в почве. Как выразился Вячеслав Генрихович Мордкович, почва — «курдюк» степных экосистем. В основном это питательные вещества, захваченные

гумусом. Но не только. Масса питательных веществ отлагается в подземных частях растений — корневищах, клубнях и луковицах. А в лесах «жировые запасы» откладываются главным образом в надземном слое, в многолетних частях древостоя — в стволах и ветках.

В результате в степных экосистемах та часть продукционного блока, которая выставлена на поверхность и в которой, собственно, и идет синтез органики — стебли и листья, — легко и быстро восстанавливается. Пожары, сенокос, выпас скота — степные экосистемы относятся к этим напастям довольно философски. Прошел пожар по степи, а через месяц-другой вы и не отличите выгоревшее место от невыгоревшего, разве что на пожарище трава сочнее и зеленее. В лесах к надземной части экосистемы нужно относиться гораздо более бережно, её разрушение ведет к гибели сообщества.

Лесные экосистемы во многом полная противоположность степным. Почвы здесь существенно беднее. Коль скоро запас в почве создать не удается, выход только один — как можно быстрее все, что образуется в деструкционном блоке питательного, всосать обратно, в блок продукционный. Подробней о работе лесных деструкторов мы расскажем чуть позже, а пока поверьте на слово — этот блок в лесу устроен таким образом, чтобы как можно скорее, по возможности вообще минуя почвенный раствор, что называется «изо рта в рот» передать продукты деструкции обратно растениям. Сами растения тоже не дремлют. Перед сбросом листвы

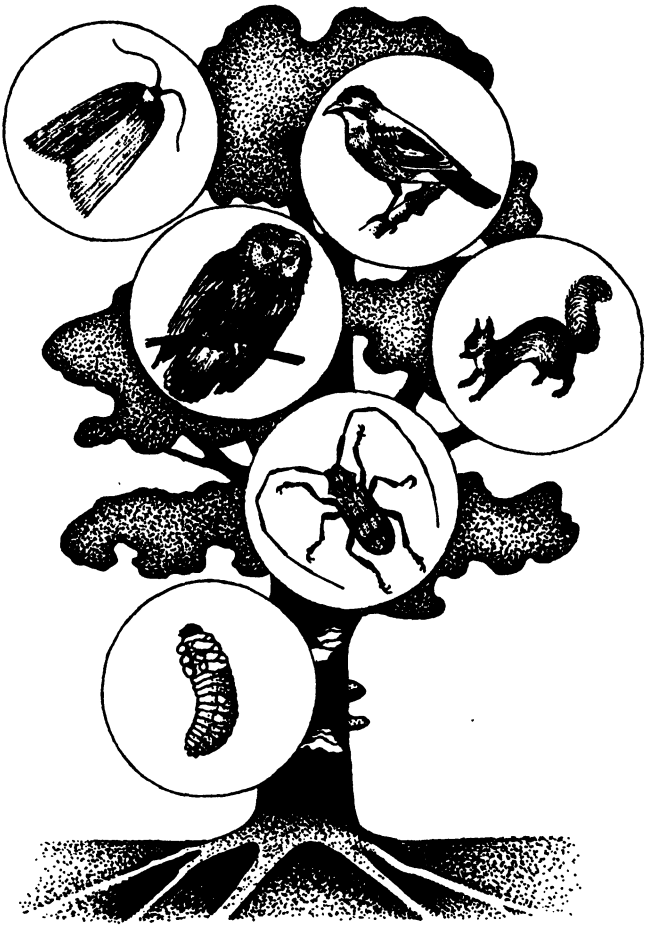


Схема организации «лесной экосистемы»

все, что только можно, растение откачивает обратно, в многолетние органы. Именно поэтому скот (и грызуны, и насекомые) благополучно кормится засохшей на корню степной травой, очень питательной, сохранившей почти все свои кормовые свойства, кроме влажности. А вот

опавшей древесной листвой питаться могут только специализированные лесные деструкторы, в ней очень мало съедобного (с нашей или, скажем, коровьей точки зрения), но зато полно вредных, ненужных растению отходов.

Особенно ярко передача «изо рта в рот» проявляется в тропических лесах. Леса средней полосы до таких высот не дошли и в значительной степени полагаются на почву, то есть у них есть и какие-то «степные» свойства. Однако по большинству других параметров это всё-таки настоящие леса.

Принято считать, что для крупных травоядных степи более благоприятны, чем леса, что именно в степях паслись некогда тысячные стада копытных, а леса и раньше и сейчас бедны крупными травоядными. Это не совсем так. В хорошем лесу тоже есть (точнее, были, пока не вмешался человек) крупные стадные животные. Именно лес, а не тундра — родина дикого северного оленя. В лесу паслись зубры, туры, лесные тарпаны. В лесах живут бобры — крупные (ну, по крайней мере, по сравнению со степными сусликами) социальные животные. От того, что социальная группа бобров называется семьёй, а не стадом, суть дела не меняется.

Дело в том, что исконные, ненарушенные рубками и пожарами леса были несплошными: участки густого древостоя в них чередовались с полянами и луговинами. Такой комплекс, мозаика лесных и степных участков на месте современных степей обусловили существование там богатейшего населения животных до раз-

Саксаул

вития сельского хозяйства, в частности подсечно-огневого земледелия, «убившего» лес.

Не только лес имеет «дырки», в которые проникают степные элементы, есть и «дырявые» степи. Таковы саванны, разреженные арчевники высокогорий, саксаульники Каракумов. От дерева до дерева здесь порой не один десяток метров, да и деревья, по нашим меркам, так себе, скорее кусты. Но под каждым таким деревом, под его кроной, свои, «лесные» почвы, свои деструкторы, свой набор трав. Прóстран-

ства между деревьями заняты типичной степной экосистемой. И, как и в случае с лесом, наличие «дырок» существенно повышает продуктивность и биоразнообразие сообщества.

Очень многие животные работают здесь по совместительству и в той и в другой системе. Полуденная песчанка, зверек, похожий на желтую крысу с волосатым хвостом, роет свои норы под кустами саксаула. Она перемешивает в «лесу» почву, аэрирует её, осенью питается семенами саксаула, короче — полноправный член саксаульной экосистемы. Однако семена — сезонный корм. И большую часть года основная пища полуденной песчанки — стебли и корневища песчаной осоки, то есть она входит и в экосистему «степную». Мало того, оставляя в норах свои экскременты песчанка переносит часть (и довольно ощутимую часть) «степной» продукции в саксаульный деструкционный блок. Но не надо расстраиваться такой несправедливостью. Двоюродная сестра полуденной песчанки, песчанка большая, делает все наоборот. Она рыхлит почвы в основном в пространствах между деревьями, здесь же и питается часть года. Но начиная со второй половины лета и до весны она лазает по саксаулу, состригает тонкие веточки с сочными вегетативными побегами и семенами и утаскивает их в «степь». В целом осоковые саксаульники больше напоминают степь, уж больно много здесь растительноядных животных, которые во все суют свой нос и очень сильно определяют лицо всей этой сборной

Полуденная песчанка

экосистемы. А вот фисташковые саванны на юге Туркмении в целом уже имеют более выраженные «лесные» черты.

Однако, как бы ни смешивались лесные и степные экосистемы, особенности их организации выражены очень отчетливо. Различия лесов и степей не только в том, где экосистема хранит заначку, и об особенностях устройства этих экосистем стоит поговорить подробней.

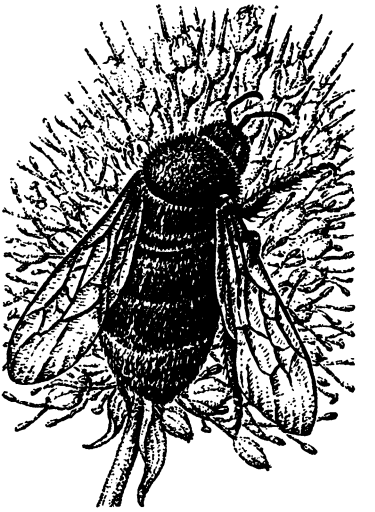
ЛОВИ МГНОВЕНИЕ

С точки зрения жителя Мурманска, Вологды или даже Москвы, степи — это благодатный юг. Благодатный-то он благодатный, но вовсе не своим климатом. Степной климат суров.

Зимой там ничуть не теплее, чем в Костроме или Архангельске, температуры до −30° в центральной части степной зоны — дело обычное. Даже в Каракумах ночная температура января сплошь и рядом зашкаливает за −20°. Зато летом стоит жара, температура воздуха за +30°, а поверхность почвы, не укрытая травяным покровом, может нагреваться до 60–70°. Так что растительность — продукционный блок — и здесь, хоть и меньше, чем в лесу, не только кормит всю систему, но и участвует в формировании ценотической среды. Но сейчас мы говорим о климате. Так вот, осадки в степи почти всегда распределены по сезонам крайне неравномерно. Основная их часть выпадает зимой, когда они не очень-то и нужны. Довольно часты дожди и весной. А летом и осенью месяцами может не выпадать ни капли. Так что контраст между временами года в степи, даже в северной, гораздо больше, чем в зоне лесов. А на юге — так вообще караул. Мало того что летом сухо и жарко, так ещё и ветер уносит влагу, которую вольно-невольно испаряет и почва, и растительность. Мало того, ещё и год на год не приходится.

Живое существо не может одинаково эффективно функционировать во всем диапазоне условий степного климата. Это касается даже животных, сумевших достичь очень высокого уровня независимости от изменений температуры, влажности и освещенности. Ящерицы, лягушки, черви и насекомые, не говоря уж о птицах и млекопитающих, в целом выдают

гораздо более устойчивые рабочие показатели, чем растения. То же насекомое может продолжать работу при довольно резком изменении условий. Жарко — оно будет держаться в тени, холодно — на солнце. Да и вообще, даже у насекомых температура тела порой больше определяется самим организмом, чем погодой. У летящего шмеля за счет работы мышц температура тела около 40°, при том что вокруг может быть около нуля.



Шмель

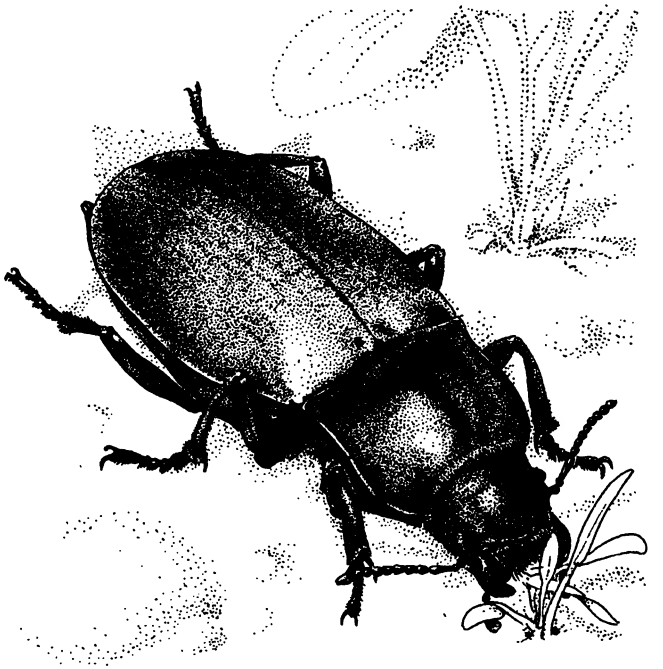
Но растение не умеет ни вырабатывать тепло, ни бегать — работник продукционного блока вынужден торчать на месте, что бы ни происходило в окружающем мире. Устойчивость работы этого блока достигается за счет того, что в разных условиях включаются в дело разные члены этого блока. В степи очень резко выражена, как говорят ботаники, сезонная смена аспектов. Холодной ранней весной вегетируют (производят органическое вещество и наращивают биомассу) одни растения, поздней весной другие, летом третьи, под осень четвертые. Мало того, аспекты различаются, в зависимости от условий,

по годам. В один год весенняя степь красная от маков, в другой — лиловая от малькольмии, в третий — желтая от сурепки. В результате эффективность работы продукционного блока сохраняется высокой, пока условия не станут совсем уж запредельными. Конечно, она меняется, но меняется намного меньше, чем если бы работало только два-три вида растений. Причем на такие фокусы способны именно травы, которые могут буквально «выстрелить» в считаные дни.

У медленно растущих деревьев это получается намного хуже. Они «предпочитают» не подстраиваться под изменения погоды, а самостоятельно изменять условия среды, выравнивая все колебания. Но об этом мы поговорим позже.

ПОЧЕТНАЯ ПРОФЕССИЯ МУСОРЩИКА

Окончательная деструкция отходов, их минерализация или гумификация, во всех экосистемах производится микроорганизмами, в первую очередь бактериями и грибами. Однако, чтобы бактерии и грибы сработали быстро и эффективно, отходы желательно измельчить и произвести их первичную обработку. Этой работой занимаются многочисленные мусорщики. Лучше всего, пожалуй, процесс деструкции налажен в сухих южных степях, пустынях и полупустынях.

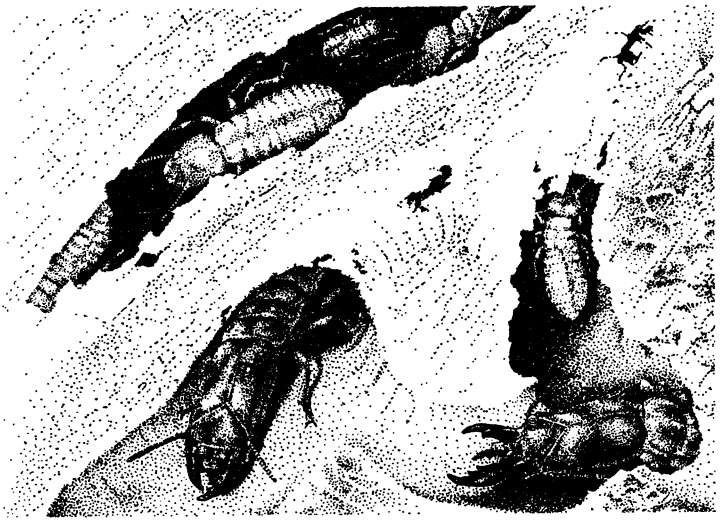


Чернотелка медляк степной

Мусор состоит в первую очередь из растений, отмерших естественным путем. Но немалую толику добавляют к нему и остатки со стола фитофагов. И копытные, и саранча, и грызуны едят неаккуратно, огрызков после них остается множество. Кроме того, к категории мусора относятся экскременты и трупы самих фитофагов. При уборке растительного мусора обычно первыми вступают в дело жуки из семейства чернотелок. Эти создания едят всё. Навоз копытных, огрызки со стола песчанок и тушканчиков, сухие травинки, экскременты саранчовых, труп бабочки или

кузнечика — всё идет в дело. Весь мусор им не съесть даже с помощью других беспозвоночных (а едят его и многие другие жуки, и мокрицы, и те же саранчовые). Но их экскременты служат рассадником микрофлоры, разлагающей растительную ветошь. Ну, и все-таки мусора съедается очень много. Мало того, большинство чернотелок пасутся на поверхности в сумерках или по ночам, днем жарковато. На день они закапываются в землю и предаются пищеварению. И значительная часть экскрементов вносится, таким образом, прямо в толщу почвы.

Многие виды муравьев — тоже мусорщики. Но их специальность — трупы мелких беспозвоночных — цикадок, бабочек, саранчуков. Этот мусор сметается муравьями подчистую. Особую работу выполняют в южных степях и пустынях термиты. Термиты, как и муравьи, — насекомые общественные, но если муравьи — родня пчёл, ос и шмелей, то ближайшие родственники термитов — тараканы. Специальность термитов — сухие ветки, сучья и сухой навоз крупных копытных. Вообще, утилизация навоза и трупов крупных животных — поле деятельности особых, сложно организованных бригад, о которых мы расскажем чуть позже. Но бригады эти состоят в основном из насекомых, которые активны летом. А верблюды, лошади и коровы продолжают есть и переваривать пищу и зимой. К весне навоз высыхает и становится никому не нужен — кроме термитов. Термиты терпеть



Термиты в древесине

не могут сухого воздуха и дневного света. Да и вообще не любят покидать свои подземные ходы. Но кушать очень хочется. И по ночам они строят над обнаруженной пищей крышу. В иных местах почти каждая куча сухого навоза покрыта глинистой корочкой, а лежащие на земле сухие веточки покрыты глиняным чехлом. Это работа термитов, которые под прикрытием глиняной брони уничтожают высохшую органику. Никто другой есть её не желает. Но у термитов, во-первых, могучая кишечная флора, которой позавидует любая корова. Эти микроорганизмы-симбионты разлагают целлюлозу и лигнин, кормятся сами и кормят своих хозяев. Кроме того, некоторые тропические термиты разводят в специальных камерах грибные сады. Это

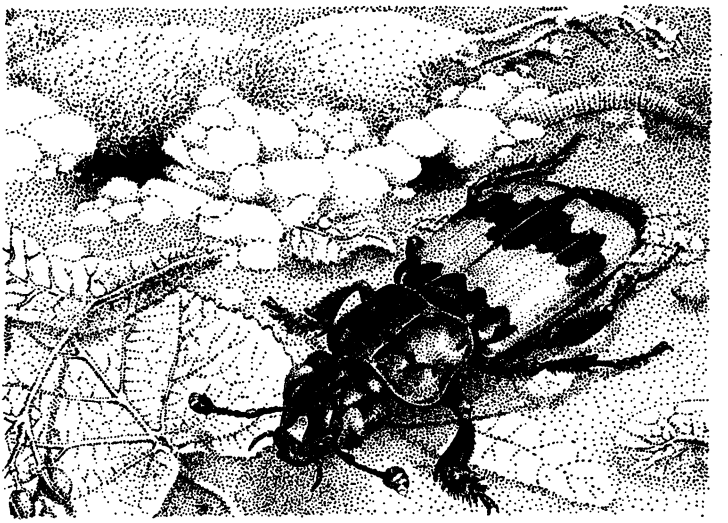
особые виды грибов, которые растут только в термитниках, на подготовленной термитами измельченной древесине, и служат питательным кормом. Наши термиты грибных садов разводить не умеют, но грибы, поселяющиеся на пережеванной и смоченной слюной термитов древесине или на их экскрементах, служат термитам серьезным подспорьем, особенно когда речь идет о выкармливании личинок, которые нуждаются в полноценном белковом корме.

Термиты — незаменимые работники деструкционного блока — одни из самых страшных врагов человеческих построек в тропиках. К сожалению, термиты совершенно не разбираются в конструкциях домов. Всякая мертвая древесина с их точки зрения — непорядок, который нужно немедленно исправить. И во многих местах деревянные сваи, бревна, служащие каркасом глинобитных стен, потолочные балки очень энергично поедаются термитами, пробирающимися к ним из почвы в толще стен и выгрызающими эти балки изнутри. Очень часто снаружи никаких признаков разрушения не заметно. А потом, в один далеко не прекрасный день, потолок валится вам на голову. Десятки тысяч жертв Ашхабадского землетрясения, сравнявшего в 1948 году город с землей, — в значительной степени на совести термитов. Город был построен из сырцового кирпича, все несущие конструкции были деревянными и очень основательно подъедены термитами.

СИЛЫ БЫСТРОГО РЕАГИРОВАНИЯ

Переработка навоза и трупов относительно крупных животных требует специальных навыков. Конечно, мимо дохлой мыши, или кролика, или кучи свежего навоза не проходят ни муравьи, ни чернотелки. На свежем навозе или трупе можно встретить даже таких убежденных вегетарианцев, как саранчовые или бабочки, с удовольствием сосущих навозную жижу или сукровицу. Но это всё дилетанты, которые не способны уничтожить весь труп или всю кучу навоза и уж во всяком случае не способны сделать это быстро и качественно. Переработкой такого рода отходов положено заниматься специалистам. Утилизаторы навоза называются копрофагами (не путать с карпофагами, это поедатели семян), а утилизаторы трупов — некрофагами или попросту падальщиками. Для всей этой публики характерно одно общее свойство — они весьма подвижны, умеют обнаруживать пищу на очень большом расстоянии и способны эти расстояния быстро преодолевать. Это и понятно. Невозможно заранее предсказать, где сдохнет очередной бизон, верблюд или крыса. Свежий навоз тоже появляется не по расписанию, и к нему тоже надо поспешать поскорее, чтобы не остаться с носом. Поэтому большинство копрофагов и некрофагов — крылатые существа.

На трупах разного размера работают разные похоронные команды. Всякой мелочью, размером с мышь, воробья или ящерицу,



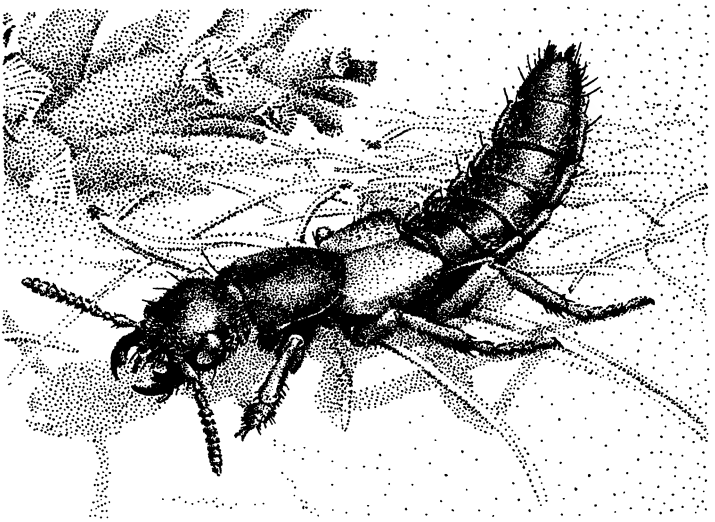
Могильщик-изыскатель

занимаются жуки, которые так и называются — жуки-могильщики. Многие из вас их наверняка видели — довольно крупные жуки, размером с последнюю фалангу пальца, черные, с двумя поперечными красными или оранжевыми перевязями на надкрыльях. Эти жуки действительно хоронят трупы. Собравшись у мертвого тела, жуки-могильщики забираются под него и начинают копать, выталкивая разрыхленную землю по бокам дохлого крота и время от времени упираясь снизу в покойника и потряхивая его. Крот погружается в вырытую ямку, а выброшенная жуками земля, осыпаясь, покрывает его сверху. Когда крот погружается на глубину сантиметров десять, жуки аккуратно сощипывают с него шерсть, откладывают яички, выбираются на поверх-

ность и отправляются на поиски следующего покойника. Закопанное животное служит пищей личинкам. Вся процедура погребения занимает всего пару часов, если земля плотная или переплетена корнями трав — полдня.

Опарыши

С трупом кошки или зайца жукам уже не справиться, и здесь работает комплексная бригада быстрого реагирования. Первыми на место события прибывают падальные мухи, которые чуют поживу на очень большом расстоянии. Одни из них откладывают на труп яйца, другие — сразу живых личинок. Способ питания мушиных личинок — опарышей — с нашей точки зрения довольно необычен. Они сначала переваривают пищу, а только потом её глотают. Личинка выплевывает в мясо пищеварительный сок и всасывает уже растворенное этим соком мясо. Личинок столько, и столько они выделяют пищеварительного сока, что все мягкие ткани трупа очень быстро превращаются в полужидкую массу, в которой и копошатся опарыши. Значительная часть разложившихся тканей просто стекает и впитывается в землю. Вскоре вслед за мухами к мертвому телу прибывают жуки-карапузики и стафилины. Эти питаются личинками мух. Из всего огромного количества опарышей завершить развитие и окуклиться удается немногим. В основном



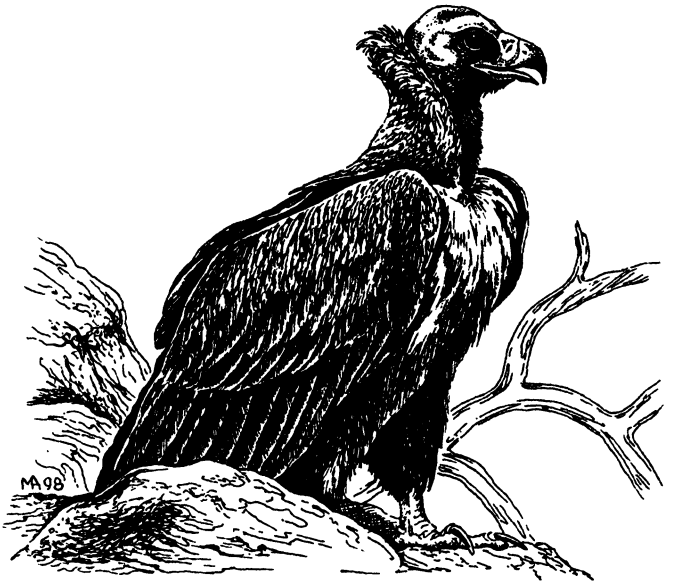
Стафилин великолепный

это личинки «первого эшелона». А те, чьи матери прибывают позже, окончить развитие не успевают и становятся жертвами стафилинов и карапузиков. В теплую погоду всё заканчивается стремительно, труп лисицы за несколько дней превращается в остов, обтянутый высохшей кожей. Но на этом дело не заканчивается, в работу включаются жуки-кожееды. И взрослые жуки, и их личинки уничтожают высохшие сухожилия, шкуру, случайно оставшиеся высохшие кусочки мяса. Остаются голые кости и шерсть (или перья). Кости разрушаются со временем солнцем, дождями и ветром, а на шерсть и перья тоже находятся потребители — личинки молей и некоторых жуков. Эта комплексная похоронная команда, вообще-то говоря, скорее всего сформировалась в незапамят-

ные времена в теплых влажных лесах. Здесь, в толстом слое гниющей лесной подстилки, один из основных переработчиков гниющей массы — личинки двукрылых. Немало здесь и жуков, которые на этих личинок охотятся. Но перебравшись на трупы, эта команда распространилась повсюду. Состав некрофагов очень сходен в самых разных экосистемах и географических зонах: от тропиков до тундр и высокогорий.

Как ни замечательно работают насекомые-падальщики, но труп крупного животного, лося или верблюда, они перерабатывают слишком медленно, на это уходят недели, а то и месяцы. Свято место пусто не бывает, и для захоронения крупных животных появились крупные некрофаги — птицы и млекопитающие. Правда, специализированные могильщики из числа позвоночных возникли только там, где очень много крупных животных и, соответственно, много падали. А там, где их мало, держать специалистов невыгодно, и там приходится, ничего не поделаешь, работать насекомым. Им помогают хищники — ни волки, ни медведи, ни хорьки с горностаями не отказываются от падали. Есть здесь и падальщики по преимуществу — вороны и вороны. Но в целом в лесах это дело поставлено плохо, и трупы здесь лежат порой месяцами. Другое дело — в степях и саваннах.

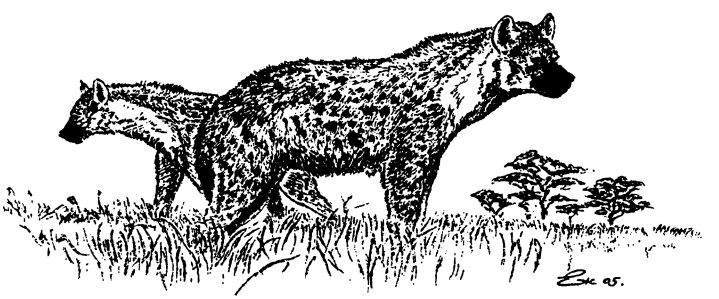
Главные позвоночные падальщики здесь птицы. Стервятники, грифы, сипы — всё это специалисты по уничтожению падали. Работают они необыкновенно эффективно, мне не раз



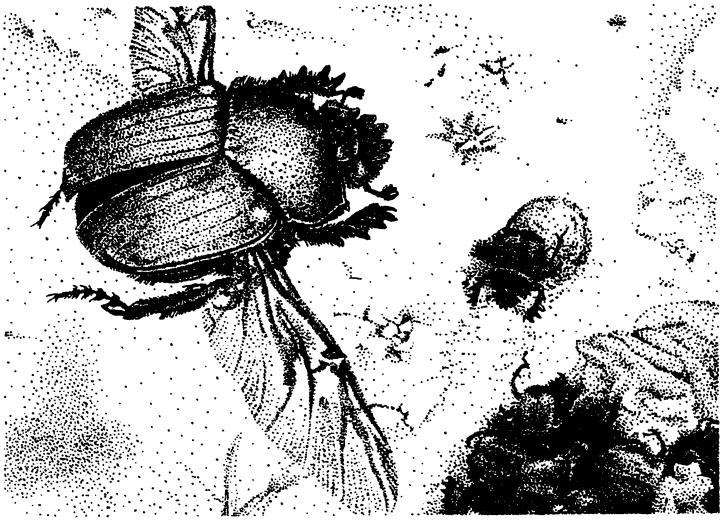
Чёрный гриф

приходилось наблюдать эту работу на юге Туркмении, и каждый раз она вызывала легкую оторопь. Ранним утром, ещё до восхода солнца, пока не навалилась жара, едешь верхом куда-нибудь в дальнее урочище по своим зоологическим делам. Едешь, клюя носом, и вдруг конь настораживает уши и вздергивает голову. Впереди от какой-то неясной массы шарахнулись и исчезли в овражке четыре тени. Ага, волки задрали одиночного хромого архара, который держался здесь, около родничка, последние несколько дней. Поначалу я по наивности думал — вот поеду через пару часов обратно, отхвачу себе кусок мяса. Солнце скоро взойдет, волки не вернутся, а если и вернут-

ся — много съесть не успеют. Так что на обед будет свеженина. На обратном пути, всего часа через два–три, на месте туши обнаруживаешь вывернутую наизнанку очищенную шкуру. На разбросанных костях — ни клочка мяса. Вокруг — большое пятно голой земли с клочками птичьего пуха. Трава выбита, как будто здесь была танцплощадка. Это работа грифов и сипов, несколько десятков которых собралось на туше, как только солнце поднялось над горизонтом. И как-то сама собой приходит мысль — случись какая-нибудь глупость и вот что от тебя через пару часов останется. Кости и шкура здесь, кстати, тоже долго не валяются. Свежими костями с удовольствием закусывает полосатая гиена. Её всеядность и мощь челюстей тоже вызывает изумление. Кости кулана, а этот родственник лошади не уступает ей по размерам и кости у него соответствующие, гиена способна разжевать в кашицу. Шкура тоже идет в дело. Желудок у гиены луженый, переваривает всё, что в него попадает.



Пятнистая гиена



Скарабей священный

Навоз, как и трупы мелких животных, возвращают в почву две группы специалистов — жуки и мухи. Как и в случае с трупами, жуки-навозники, а их великое множество, больших и маленьких, закапывают навоз в землю, а личинки мух растворяют и съедают на месте. На личинках навозных мух, так же как на личинках падальных, кормится множество хищников, и главные из них и здесь карапузики и стафилины. Но если в разложении трупов жуки играют вторую скрипку, то в деле переработки навоза — первую. Значительная часть этого замечательного продукта закапывается прямо на месте. Знакомые любому из вас жуки-навозники из рода геотрупов роют норки прямо под коровьей лепешкой. Набив норку навозом, они некоторое время сидят в

ней и пируют, а затем отправляются на поиски свежей лепешки, оставив большую часть содержимого норки на долю дождевых червей и почвенных микроорганизмов. А многочисленная жучиная мелочь из родов онтофагов и афодиев даже не затрудняет себя рытьем: они просто едят навоз, забравшись под него. Значительно аккуратнее работают навозники из рода скарабеев — это они лепят и катают навозные шары. В южных степях и пустынях на свежий навоз, неважно чей: верблюда, лошади или человека, — в течение пяти минут собирается десяток-другой крупных жуков. Полчаса — и всё чисто, только ведут по песку в разные стороны следы укаченных шаров.

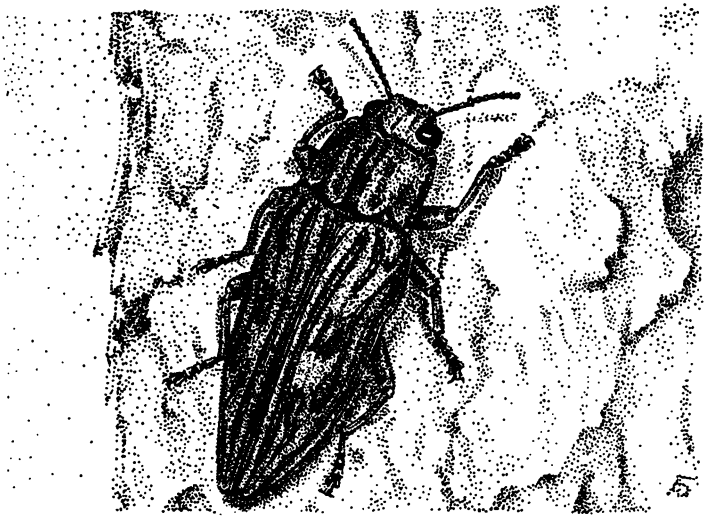
РУБКИ УХОДА

Сельские хозяева и лесоводы очень долго подходили ко всем животным с прямотой, доходившей до наивности. Если на растении сидит насекомое и грызет лист — это насекомое вредное. К сожалению, несмотря на отчаянные усилия многих поколений экологов, большинство практических работников не утеряли своей первородной наивности до сих пор. Давайте посмотрим на вредителей внимательней.

Вот на каком-то участке уничтожен вековой сосновый бор — вырублен, сгорел, вывален ураганом... Уцелевшие деревья в первый же урожайный год засыплют освободившееся место семенами. Через год проклюнутся из земли

нежные проростки сосны: по штуке на два–три квадратных метра. Этих младенцев и увидеть-то сложно, нужно лечь на землю, чтобы разглядеть крошечный стволик с пучком хвоинок. Часть из них съедят, но очень небольшую часть. На первом году от вредителей, в основном от вездесущих мышей-полевок, гибнет менее двух процентов всходов. Ещё процента два–три погибает от несчастных случайностей — проросли на совсем уж неподходящем месте. На второй-третий год мышей сменяют насекомые — личинки жуков-долгоносиков, пилильщики, гусеницы, тли. Но отход продолжает оставаться небольшим, один, два, три процента в год. Где-то годам к десяти погибнет не более четверти сосенок. И так будет продолжаться до тех пор, пока древостой не достигнет возраста 70–80 лет. К этому времени в живых останется не более трех сотен сосен из первоначальных тысяч. Но на одном гектаре взрослых сосен и не может поместиться больше, им просто не хватит света. Самый жесткий отбор «вредители» будут проводить на стадии так называемого жердняка, когда в возрасте 20–30 лет сосны вытянутся и сомкнутые кроны перестанут пропускать свет к земле. При этом в первую очередь будут гибнуть от «вредителей» ослабленные деревья, отставшие в росте и проигравшие в борьбе за свет.

Но ведь то же самое делают и хорошие лесники. Эта штука называется «рубки ухода», когда убираются слабые деревья в загущенных насаждениях. Рубки ухода ведутся как раз на



Скарабей священный

стадии жердняка. Причем насекомые проводят эти рубки гораздо лучше, чем самые аккуратные лесники. Во-первых, насекомые гораздо лучше разбираются, какое дерево ослаблено, а какое нет. Кроме того, что может сделать лесник? Срубить дерево и увезти его на дрова, бросив в почве медленно разлагающиеся корни. «Вредители» подходят к делу комплексно. Личинки жуков (а также паразитические грибы) подгрызают корни. Гусеницы, тли и пилильщики объедают хвою. И те и другие превращают трудно разлагающуюся растительную массу в свои тела и экскременты, которые усваиваются почвой намного лучше. Ствол? Тут в дело вступают жуки-короеды, личинки жуков-усачей, златок, долгоносиков и многие другие специалисты по питанию древесиной. Поселяясь

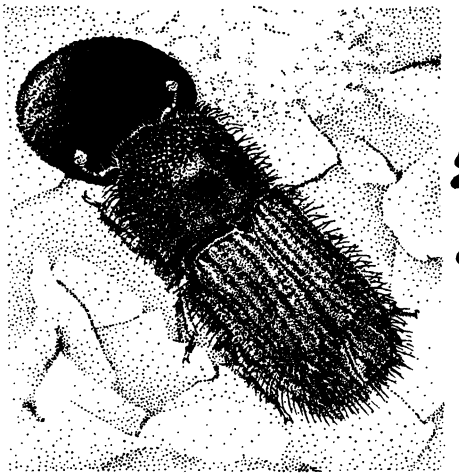
ещё на живом дереве, они прокладывают ходы в древесине. Мало того что они едят её сами, они заносят в ствол споры грибов и бактерий, давая ход разложению ствола изнутри. Такой ствол, упав на землю (проточенный и подгнивший изнутри, он и падает быстрее), разлагается в течение нескольких лет, возвращая экосистеме все то, что он хранил в себе.

Перелистайте любой справочник по вредителям леса, которые пишутся, кстати, в основном не экологами, а лесоводами. И вы увидите то, о чем мы только что говорили. Большинство насекомых поражают сосну на стадии жердняка, причем в первую очередь поражаются ослабленные деревья или насаждения в неблагоприятных местах. Понятно, что с точки зрения лесовода, посадившего сосну там, где должна расти береза (сосновая древесина ценнее), все это вредители. Но насекомым, как и самой сосне, нет дела до наших с вами потребностях в древесине. Сосновые леса и связанные с ними фитофаги существуют уже десятки тысяч лет и до недавних пор, пока не вмешался человек, могучие вековые сосновые боры без слов свидетельствовали о том, что вредителей в лесу нет.

Их и не было бы, если бы человек не придумал засаживать многие гектары одновозрастными и однопородными древостоями. В «хорошем» лесу, состоящем из мозаики участков с разными видами и разными возрастами деревьев, «вспышки» численности вредителей если и происходили, то быстро угасали, не распространяясь на другие участки.

Ладно, бог с ними, с молодняками, там все ясно. Но что делают фитофаги в старых, вековых лесах? Прежде чем взяться за этот вопрос вплотную, обратим внимание на то, как устроены настоящие старые леса. Это леса разновозрастные: в них соседствуют участки, занятые старыми деревьями, молодыми, поляны с совсем юным подростом, где старые деревья уже умерли, а молодые ещё не выросли. Такие леса существуют неопределённо долго, пока не изменится климат, равнина не сменится горами или пока не придет человек с мотопилой и трелевочным трактором.

Насекомых здесь не меньше, чем в жердняках, вырастающих на гарях и вырубках, и занимаются они здесь, в общем, тем же самым. Проводят строгий отбор молодняка, а кроме того, ускоряют гибель старых, отживших свое деревьев, давая дорогу здоровому молодому поколению. То есть и здесь производятся рубки ухода. Но как они отличают ослабленное дерево от здорового? Ослабленные деревья фитофаги отличают прежде всего по запаху. И в отличие от лесников, практически никогда не ошибаются. Дело здесь не только в том, что уничтожение здоровых деревьев вредно для экосистемы. Жуки или, скажем, сосновый шелкопряд, книжек не читают и про экосистему им ничего не известно. Просто здоровое дерево очень успешно сопротивляется нашествию фитофагов, и они волей-неволей должны



Короед-типограф и его ходы:

1 — брачная камера; 2 — маточные ходы, вдоль которых самки откладывают яйца; 3 — ходы личинок, увеличивающиеся по мере их роста; 4 — камеры, в которых окукливались личинки

выискивать растения послабее. Здоровое растение вырабатывает защитные вещества, и гусеница, поедающая хвою здоровой сосны, рискует крепко испортить себе здоровье. От короедов и усачей деревья защищаются смолой, заливая ею личинок и их ходы. Если бы деревья умели защищаться от лесорубов, те тоже рубили бы не всё подряд и приносили бы лесу огромную пользу.

А что происходит при массовых размножениях, когда гусеницы объедают половину листвы, а то и всю? Даже будучи объеденными наголо, деревья умудряются дать второй «урожай» листьев. При этом, правда, заметно падает прирост древесины — все силы дерева

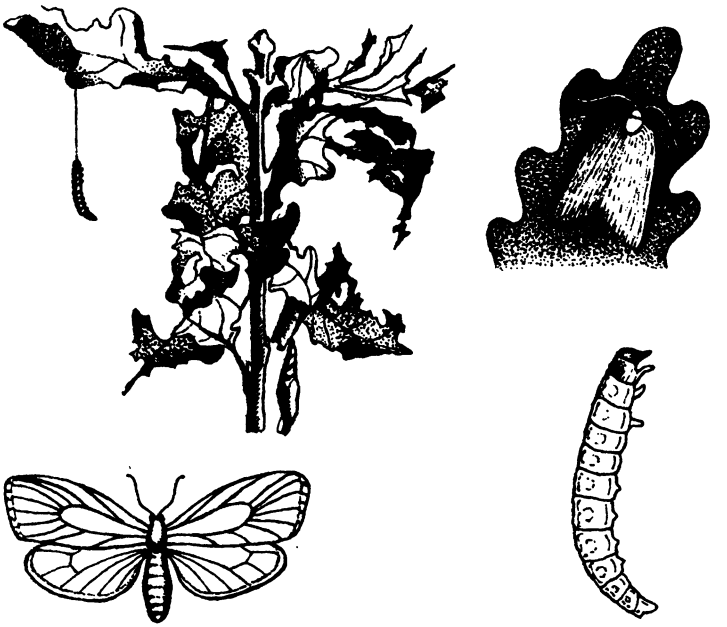
уходят на то, чтобы «удержаться на плаву», тут уж не до роста в высоту и в толщину. Но в последующие годы древостой повышает прирост и догоняет те участки леса, где массовой вспышки фитофагов не было. Как и почему? Точно никто не знает. Но очень вероятно, что дело в улучшенном питании деревьев после вспышки. В почву поступает огромное количество экскрементов гусениц и их трупов. Это равносильно внесению в почву удобрений, причем удобрений, смешанных с биологически активными веществами, благоприятно влияющими на рост древостоя. А кроме того, опада в почву в таких случаях поступает вообще в два раза больше — первая листва падает вниз экскрементами гусениц и их трупами, вторая опадает осенью сама по себе.

СМЕНА КУРСА

Вообще, хотя вспышки численности лесных насекомых описывали и изучали многие поколения исследователей, но в этом вопросе далеко не все ясно. Лес живет долго и растет медленно. Чтобы понять, как вредители влияют на его жизнь, нужно знать не только то, что происходит во время вспышки и сразу после нее. Нужно знать, что происходило на протяжении многих лет до и что будет через много лет после. Таких исследований почти не проводилось. Но когда делались попытки рассматривать не просто вспышку вредителей и их

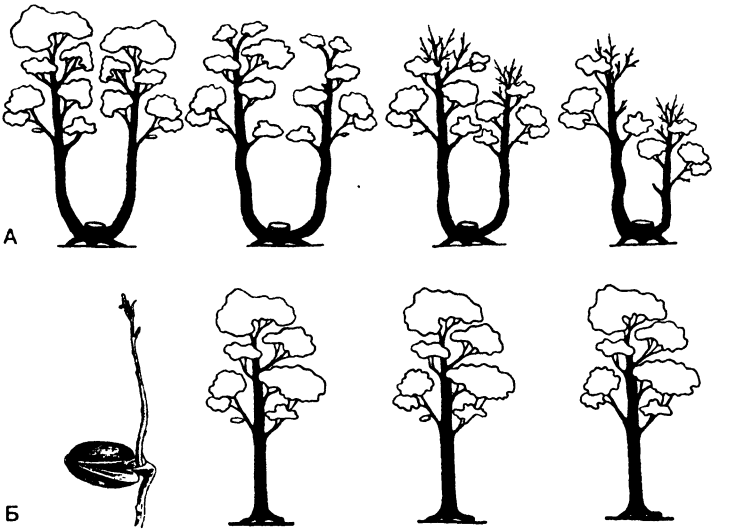
влияние на выполнение плана по заготовкам товарной древесины, а воздействие этих вредителей на лес как цельный организм, выяснялись страшно интересные вещи.

В дубравах нашей лесостепи вспышки численности дубовой листовертки следовали одна за другой. Дубовая листовертка — мелкая симпатичная бабочка, передняя пара крыльев у нее зеленая, вторая — серенькая, пестрая. Её мелкие гусеницы объедали по весне молодую дубовую листву почти начисто (старый, сформировавшийся лист гусенице уже не по зубам). Все происходило вполне по учебнику. Дуб давал вторую генерацию листвы. Пораженные деревья сбрасывали нижние ветви (это нормальная реакция на плохие условия), часть деревьев погибала. Прирост древесины, как и положено, снижался. Но когда сравнили ситуацию в очагах размножения листовертки и в местах, где она была малочисленна, выяснилось, что в неповрежденных насаждениях прирост дуба в течение последних лет снижался тоже, хотя и меньше, чем в очагах. Подняли материалы лесоводов и экологов за предыдущие десятилетия, до вспышки размножения листовертки, благо такие материалы были и оказались достаточно полными. Оказалось, что усыхание дубрав идет уже не один десяток лет. Листовертка жила себе на дубах и в эти годы, куда она денется, но численность её была очень умеренной. Подняли данные метеостанций. Оказалось, что в эти десятилетия нарастала засушливость климата. Среднегодо-



Дубовая листовёртка

вые температуры и количество осадков оставались прежними, но изменялось их соотношение по сезонам, изменялось так, что осадки смещались с начала лета на зиму и осень, а жара с середины лета к началу. Иными словами, весной было сухо и жарко, что очень полезно для листовертки, гусеницы которой терпеть не могут холода и сырости, но очень неприятно для дуба, который именно весной и в начале лета привык производить основную массу листвы и древесины. То есть листовертка довольно долго терпела, а когда дело усыхания дубрав начало заходить уж очень далеко, ввязалась и заметно ускорила процесс.



Деградация популяции дуба при порослевом возобновлении (А). При семенном возобновлении деревья каждого поколения не снижают жизнеспособности (Б)

Взялись разбираться, что же, собственно, происходит в дубравах при вспышке численности. Оказалось следующее. Уничтожение листвы приводит к увеличению освещенности под кронами дубов в начале лета и к изменению режима температуры и влажности. В результате меняется состав лесного травостоя, заросли сныти замещаются разнотравьем. И, вот сюрприз, оказалось, что в этих условиях великолепно чувствуют себя проростки дуба. До того, в густой тени, в зарослях сныти, молоденькие дубки погибали в первые годы жизни. Возобновление дуба было порослевым, происходило за счет вегетативного размножения.

А лесоводам уже более ста лет известно, что леса с семенным возобновлением деревьев намного более устойчивы и к вредителям, и к засухе. Экосистемы семенных дубрав отличаются от вегетативных, в частности, гораздо большим богатством не только растений, но и животных. Так что листовертка, когда условия этого потребовали, просто переключила экосистему дубравы на другой (и лучший!) способ существования. Смена курса при этом не привела к резким перестройкам, дубрава осталась дубравой, но её устройство изменилось в соответствии с новыми требованиями времени.

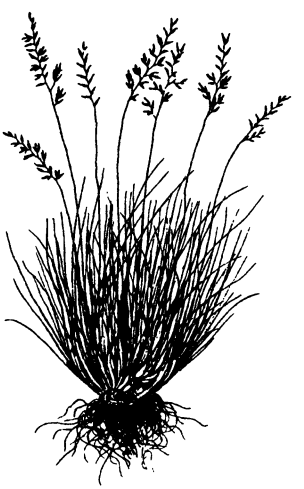
ВОЗРОЖДЕНИЕ ИЗ ПЕПЛА

Лесная экосистема, казалось бы, довольно уязвима для разнообразных напастей. А напасти случаются всякие и помимо человека. То буря повалит деревья, то пройдет по лесу зажженный молнией пожар. Однако леса существуют, несмотря на все время от времени случающиеся неприятности. А существуют они благодаря особым ремонтным бригадам, которые восстанавливают нарушения за довольно короткий с точки зрения леса срок — всего за сотню-другую лет. Этот процесс восстановления называется демутационной сукцессией. В ходе этой сукцессии ценотическая среда восстанавливается в несколько этапов.

Где-нибудь в Костромской губернии растет на сухой песчаной гряде старый зеленомош-

Лишайник кладония

ный сосняк-брусничник. Но вот пришли лесорубы, сосняк вырубили, почву перепахали гусеницами тракторов, а потом ещё и сожгли то, что на языке лесников называется «порубочные остатки». На месте векового бора возникла песчаная пустыня. Семена сосны будут сюда попадать, если, конечно, в окрестностях сохранилась сосна. Но большинство семян просто не прорастет, а те, кому это удастся, будут страдать и часто гибнуть от засухи, морозов и вредителей. Конец? Проходит, однако, несколько лет, и в эту пустыню проникают совершенно определенные виды растений, вытесняющие сорняки. Там, где почва выгорела посильнее, до чистого песка, поселяются мхи, а вслед за ним — вереск и лишайник кладония. В мелких западинках, где повлажнее и которые не очень затронуты выжиганием остатков, появились овсяница, медвежье ухо, кошачья лапка. Это и есть работники аварийной службы лесной экосистемы. Через десяток лет они со-



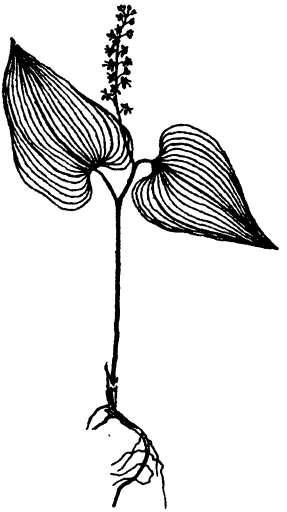
Овсяница

Коровяк медвежье ухо

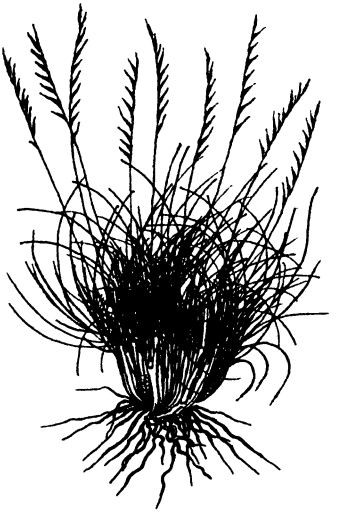
Кошачья лапка

здадут условия, в которых сосновые семена будут приживаться. Конечно, большая часть проростков будет продолжать гибнуть. Но с каждым годом выживших будет становиться всё больше, молодые сосенки начнут тянуться вверх, смыкаться кронами, под кроны начнет проникать брусника, сосняк войдет в стадию жердняка, начнутся «рубки» ухода, и через сотню-другую лет возродится сосновый бор. Если только лет через пятьдесят—шестьдесят сюда снова не придут лесорубы.

Когда подобная напасть случается с другим леса, скажем, с майниковым ельником, восстановительные работы требуют более сложных операций, которые идут в несколько этапов.



Майник двулистный



Белоус

На месте уничтоженного ельника вырастает трава-белоус, которая создает условия для проникновения сюда березы и черники. В черничнике, под прикрытием березы, начинает возобновляться ель, и через полсотни лет здесь возникает ельник-черничник, который ещё через некоторое время возвращается в исходное состояние ельника майникового. Если же почвенный покров был выжжен очень основательно, то на месте ельника начнут расти мхи и вереск, затем поднимется сосна, а ельник возродится под прикрытием уже не березы, а сосны. Но возродится обязательно.

Может возникнуть вопрос: а где работники аварийной службы пережидают периоды мирного существования лесов? До появления человека эти периоды могли быть очень длитель-

ными, фронта работ для ремонтников могло не появляться очень долго. Как они не вымерли? На самом деле восстановление лесов на обширных пространствах, так сказать «капитальный ремонт», — не единственная задача ремонтников. Сплошь и рядом происходят местные нарушения. Упало огромное старое дерево, повалило, падая, ещё пару деревьев помоложе. Подул сильный ветер, повалил ещё несколько старых деревьев, лишившихся прикрытия соседей. В лесном пологе регулярно возникают дырки. Вот эти дырки и штопают ремонтные бригады, постоянно занимаясь текущим ремонтом экосистемы.

БИОСФЕРА

Хотя в слово биосфера и входит частица «био», однако это понятие, строго говоря, не имеет отношения к биологии. Изначально термин «биосфера» — из области геологии, точнее геохимии. Деление внешнего слоя Земли на сферы — атмосфера, гидросфера, литосфера — используется геологами с незапамятных времен и отражает своеобразие состава и химических процессов в этих средах. То же самое относится и к биосфере. Биосфера — это та часть верхних слоев планеты, в которых присутствуют активные живые организмы, за счет которых это «геохимическое пространство» имеет совершенно особый состав и особый ход преобразования геологических пород.

С точки зрения эколога, биосфера — совокупность всех экосистем планеты. Эти экосистемы влияют друг на друга, некоторые из них поставляют друг другу различные вещества или создают друг для друга определенные условия и существовать сами по себе не могут.

Например, леса и болота регулируют сток рек, от которого зависит существование экосистем озёр и морских заливов. Лесные экосистемы, главным образом экосистемы тропических лесов, отвечают за климат планеты. Надо сказать, что в лесах сосредоточено более половины всей массы живых существ планеты, включая и обитателей океанов. Леса расположены в местах, где выпадает наибольшее число осадков. Значительную часть этих осадков растения лесов испаряют обратно в атмосферу. Растения одного гектара вечнозеленого тропического леса ежедневно испаряют около 150 (ста пятидесяти!) тонн воды. Это приблизительно в двадцать раз больше, чем при той же температуре испаряется с одного гектара открытой водной поверхности. А теперь посчитаем — площадь только тропических лесов на планете — около пятнадцати миллионов квадратных километров. Площадь Мирового океана — около 360 миллионов. Результат впечатляет — влажные тропические леса производят такое же количество облаков и, следовательно, дождей, сколько весь Мировой океан. Если экосистемы вечнозеленых тропических лесов исчезнут с лица Земли, а к этому, похоже, дело и идет, климат на планете катастрофически изменится.

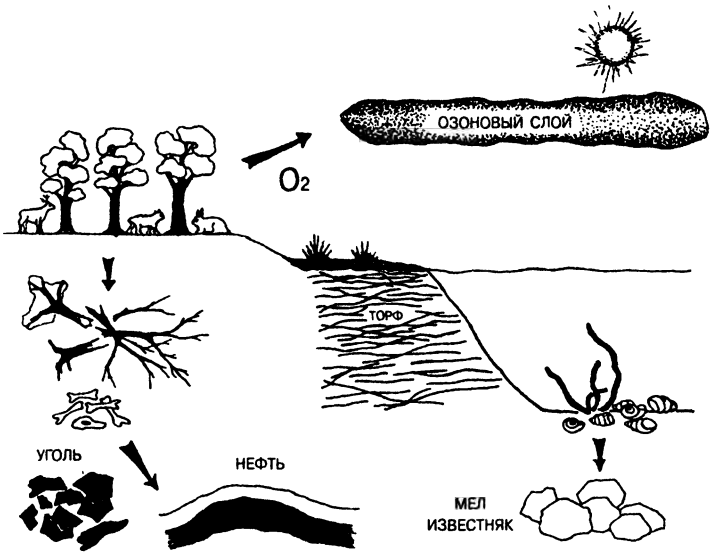
Считается, что впервые представление о биосфере, как особой геохимической зоне, было сформулировано великим естествоиспытателем Жаном Батистом Ламарком в конце XVIII столетия. Во всяком случае, так считал один из крупнейших геохимиков, Владимир Иванович Вернадский. Сам термин «биосфера» придумал и ввел в обиход австрийский геолог Эдуард Зюсс в конце XIX века. Однако вдохнул в него жизнь Вернадский, в начале XX века впервые детально исследовавший роль живого в геохимических циклах конкретных химических элементов. Кстати, и сам термин «геохимия», впервые примененный швейцарцем Х. Ф. Штенбейном в 1838 г., возродил Владимир Иванович на паях с норвежцем Виктором Гольдшмидтом.

Значение биосферы в геохимии планеты чрезвычайно велико. Возьмем кислород. Сейчас любому школьнику известно, что практически весь свободный кислород планеты: и содержащийся в атмосфере, и растворенный в воде, — продукт жизнедеятельности зеленых растений и фотосинтезирующих бактерий. Под влиянием ультрафиолетового излучения солнца и электрических грозовых разрядов молекула кислорода (O_2) превращается в ещё более активный атомарный кислород O и озон (O_3). Возникший благодаря деятельности организмов-фотосинтетиков озоновый экран перекрыл доступ к поверхности планеты жесткого ультрафиолетового излучения и, таким образом, прекратил течение ряда фотохимических реакций, игравших очень важную роль

в преобразовании многих минеральных соединений в докислородную эпоху.

Кроме того, кислород — очень активный, агрессивный элемент. Наличие в среде больших количеств свободного кислорода коренным образом меняет ход химических преобразований на поверхности Земли. Один из наиболее ярких примеров — геохимическая судьба железа. Концентрация солей железа в водах, насыщенных кислородом, сильно уменьшается, возникают отложения железосодержащих соединений. Значительная часть железных руд, используемых человеком, — результат выделения фотосинтетиками свободного кислорода. Запасы этих руд сформировались в период, когда живые существа начали преобразование атмосферы. Заметим, кстати, что другая часть железных руд обязана своим происхождением деятельности некоторых групп бактерий, обмен веществ которых устроен таким образом, что они используют железо в ряде биохимических реакций, результатом которых являются нерастворимые соединения железа.

Не менее показательна роль биосферы в судьбе кальция. Ещё Карл Линней в первой половине XVIII столетия утверждал: «Весь известняк — из червей». И был прав. Известь, или углекислый кальций ($CaCO_3$), на Земле производится почти исключительно живыми существами. Все отложения известняков, достигающие толщины нескольких километров, — результат деятельности водных организмов, формирующих свои скелеты из извести: мол-



Влияние биосферы на геологические процессы

люсков, коралловых полипов и многих других. В течение многих сотен тысяч лет микро- и макроскопические остатки мертвых существ опускались на дно морей. Со временем, под влиянием собственной тяжести, масса этих осадков превратилась в километровые толщи мела, мергеля, мрамора. Если бы не живые организмы, этих пород на планете просто не было бы.

БИОСФЕРА И ЧЕЛОВЕК

Экология, экологические проблемы, экологическая катастрофа, деградация биосферы. Эти слова слышал или читал каждый из нас. Действительно, то, что творит на планете

человек, совершенно выходит за рамки нормальных биологических процессов и по своим последствиям вполне сопоставимо с падением гигантского метеорита, или нашествием полчищ киберов из системы Альдебарана, или другими бедствиями, которые так любят выдумывать писатели-фантасты. Не будем распространяться о выбросах в атмосферу углекислого газа, озоновых дырах, радиоактивном загрязнении и разлитой в морях нефти. Окинем беглым взглядом хотя бы основные наземные экосистемы и изменения, которые они претерпели за последние две сотни лет.

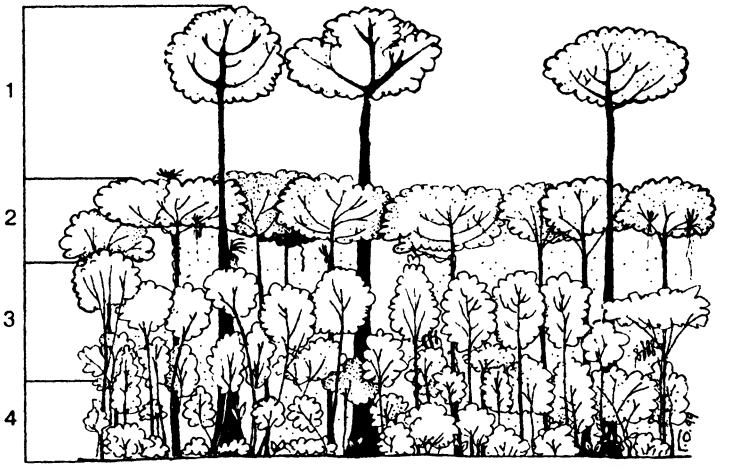
Площадь лесов на планете сократилась более чем втрое. Это только по официальным данным, которые предоставляют соответствующие министерства различных стран. Из оставшейся трети лишь небольшую часть можно назвать лесами. Причем, строго говоря, это зачастую не леса в понимании нормального человека, а то, что в официальных бумагах называется «лесопокрытая площадь». В цивилизованных странах существенная часть этой площади — искусственные посадки на месте вырубок. Считать лесом вытянутые по ниточке молоденькие деревца, поливаемые удобрениями и ядохимикатами, могут только чиновники и воротилы лесной промышленности. В странах менее цивилизованных, в число которых, наряду со странами Африки, Южной Азии и Южной Америки входит и Россия, вырубки в основном зарастают стихийным образом. Но и эти молодые леса не многим от-

Сокращение площади лесов (на примере Вьетнама) с 1943 года

личаются от искусственных посадок. Это, конечно, лес, но биомасса таких лесов намного ниже биомассы первичных, ненарушенных, лесов. Значит, намного ниже и влияние этого леса на среду. Первичных же лесов на планете практически не осталось. Нигде: ни в таежной зоне, ни в тропиках. Площадь таких лесов — менее двух процентов всей «лесопокрытой площади».

Что касается степей... впрочем, какие такие степи? Ныне нетронутых степей на планете фактически нет. Остались крошечные клочки нетронутых степей, вроде заповедника Галичья гора площадью в два квадратных километра. Таких заповедников во всем степном поясе пара десятков, их общая площадь — площадь полей одного приличного колхоза.

Хуже всего обстоят дела в тропической зоне. Многие свято верят, что тропики — рай



Тропический лес (схема):
1 — ярус «деревьев-маяков»; 2 — первый ярус; 3 — второй ярус; 4 — ярус подлеска

земной, где, чтобы прокормиться, нужно просто лечь под ближайшим деревом и открыть рот. Или, в крайнем случае, ткнуть в землю какой-нибудь батат, а «оно за месяц само вырастет». К сожалению, всё с точностью до наоборот. Сельское хозяйство в тропиках намного, в несколько раз, менее эффективно и более трудоемко, чем в нашей умеренной зоне. Дело в том, что тропические леса — верх лесного совершенства. Мы уже говорили, что в почвах под лесами тропиков практически нет питательных веществ. Все, что падает мертвым на землю, стремительно возвращается в тела тропических деревьев. Расчищенный участок дает максимум два-три урожая, потом его надо забрасывать и расчищать новый. Кроме того, ливни здесь таковы, что

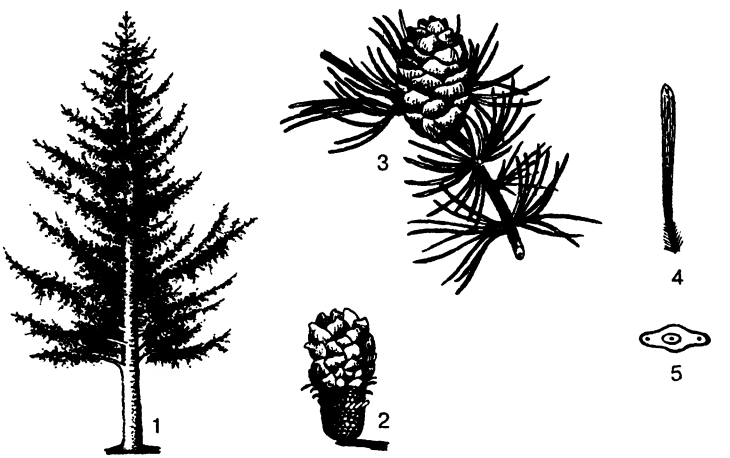
обнаженная почва моментально размывается. Можно удержать поле путем всяких современных агротехнических ухищрений, но это очень дорогое удовольствие. И дело вовсе не в том, что бедный негр или индеец не могут себе этого позволить. Просто хозяйство становится нерентабельным, себе в убыток, неважно, кто ты, нищий фермер или богатый плантатор. Так на месте сводимых лесов через несколько лет возникает пустыня.

Раньше, когда численность населения тропической зоны была меньше, многие племена жили в значительной степени охотой и собирательством. Возделывались крошечные, сравнительно с общей площадью лесов, участки. Будучи заброшенными, они успевали восстанавливаться. Хотя значительная часть тропических лесов уже несколько тысячелетий назад подверглась более или менее сильному воздействию человека, но это не были сплошные рубки, которые ныне ведут международные корпорации. Сейчас же тропики — районы с наиболее быстрорастущим населением, здесь в среднем на квадратный километр приходится в пять, шесть раз больше людей, чем в Германии или Великобритании. И голод постоянной угрозой висит над сельским населением почти всех тропических стран. Кстати, и в прежние времена в тех районах, где численность населения была высока, голод уносил миллионы жизней.

Как ни странно, но все сказанное о тропических лесах свойственно и лесам умеренной

зоны. (Впрочем, почему странно: в лесных экосистемах везде запас расположен не столько в почве, сколько в телах растений.) Вплоть до конца XVIII — начала XIX века в лесной зоне (которая в те времена простиралась дальше на юг и на север) было распространено подсечно-огневое земледелие. Этот способ землепользования так же быстро истощал почвы, поэтому в расчистку включались всё новые и новые территории. В какой-то момент крестьяне были вынуждены начать использовать земли, ещё не восстановившиеся от предыдущей расчистки. Таким образом леса северной части Европы были обеднены ещё до начала промышленных рубок XVIII века.

Нельзя оставить без внимания и зону тундр. Вырубка коренным населением деревь-



Лиственница:

1 — общий вид; 2 — молодая шишка; 3 — побег со зрелой шишкой; 4 — хвоинка; 5 — хвоинка на поперечном срезе

ев на пределе возможности существования последних таким образом меняет микроклимат, что под воздействием зимних ветров новые уже вырасти не могут. Примером может служить известный лиственничник на Ямале, один из последних. Сквозь него была проложена тропа для гона оленей на север. Под копытами тысячных стад она расширилась, и большой кусок леса превратился в два маленьких. По открытому пространству ветер несет поземку с маленькими кристаллами льда. Они ранят все живое, что выступает из снега. Лиственничник гибнет и уже не восстанавливается.

ВЗГЛЯД НАЗАД

Что, человечество катится в экологическую пропасть? Очень похоже на то. Однако так ли нова проблема? Что, в старину человек действительно жил в экологическом «золотом веке», как нам сейчас кажется?

Как-то я зашел на работу к своему приятелю, археологу. На столе рядами лежали человеческие черепа — материал из древних могильников южной Сибири. Мне бросились в глаза зубы, у многих стертые, со сколами, но белые и крепкие, без следов кариеса.

— Обычная ситуация, — сказал приятель, — кариес появляется при переходе к земледелию, а это, — он обвел рукою черепа, — кочевники, охотники и скотоводы. В истории

последних веков не известно ни одного случая добровольного перехода охотничьих или скотоводческих племен к земледелию. Вероятно, так же обстояло дело и в прошлом. Преимущество земледелия только в одном — с единицы площади можно прокормить больше ртов. Только изменение природных условий, голод и угроза гибели могли заставить племена перейти к несвойственному им способу добывания пищи. А это и есть экологическая катастрофа.

Ещё 10–15 тысяч лет назад Сахара была покрыта благодатной саванной, изобиловала травой, водой и дичью и была заселена процветающими народами. Об этом бесспорно свидетельствуют рисунки, сохранившиеся на выжженных солнцем скалах. Нарастающая сухость климата и опустынивание вытеснили людей в заболоченную долину Нила. В результате экологической катастрофы возникла великая цивилизация Египта.

Средние века, чума в Европе, уничтожившая во многих районах три четверти населения, вполне под стать ядерной войне. Чума пришла из Азии, пришла по возникшим к этому времени торговым путям и смогла развернуться благодаря возросшей численности населения, возникновению городов и активных связей между городами и странами. Это — тоже экологическая катастрофа.

Современные проблемы мало отличаются от проблем наших предков, ничего принципиально нового человечество не выдумало.

Загрязнение среды? В средневековых городах издавались указы, запрещающие сжигать в печах «зловонные вещества», сливать в реки отходы красильного и кожевенного производства.

Значит, уже тогда загрязнение среды доставляло определенные неприятности. А свинцовые трубы римских и средневековых водопроводов? А свинцовая посуда и широкое применение красителей, содержащих свинец? Нет, среда, в которой жили предки, во всяком случае горожане, вряд ли была много чище. Деградация сельскохозяйственных земель в результате их неразумной эксплуатации? Хищническое сведение лесов? И это все было. Этот букет проблем был хорошо знаком человеку с седой старины и способствовал упадку многих древних государств Средиземноморья, Северной Африки, Малой Азии, Индостана, Центральной Америки.

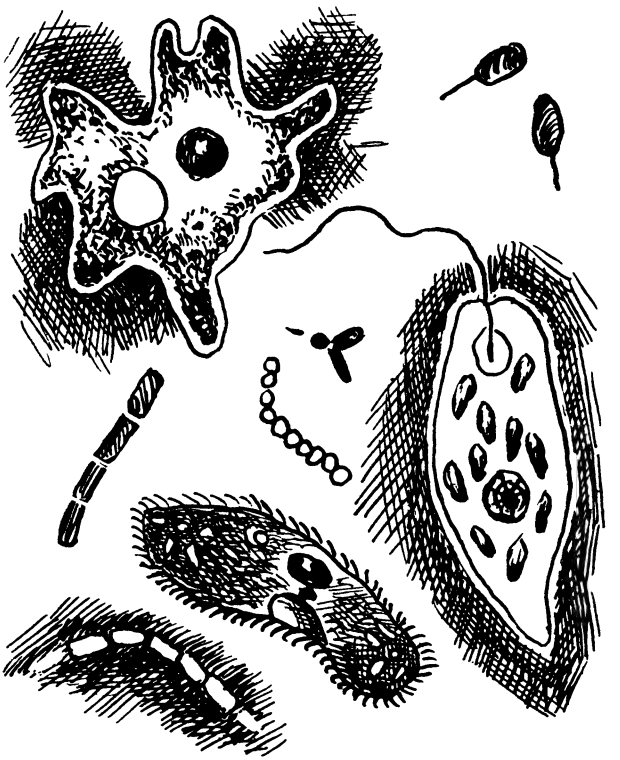
Так что — проблема не нова. Принципиальное отличие современной ситуации только в одном. Раньше экологические катастрофы стирали с лица земли отдельные племена и народы, а сейчас впервые они угрожают человечеству в целом.

Есть, правда, и повод для острожного оптимизма: сейчас мы знаем (хотя бы приблизительно), что мы делаем неправильно, и можем (если захотим, конечно) выработать оптимальные формы взаимодействия с природой. Воспользуется ли человечество своими знаниями?

А вот это целиком и полностью зависит от нас с вами, в том числе и лично от вас, уважаемый читатель.

Палеоантропологи предполагают, что численность человека на заре его истории не превышала 125 тысяч особей. Ко времени неолитической революции, то есть более чем за миллион лет, численность наших предков на всей планете достигла, вероятно, 5–6 миллионов, то есть выросла раз в двадцать. За следующие десять тысяч лет численность людей выросла в 30 раз и к началу нашей эры достигла 150 миллионов человек. А за последующие две тысячи лет численность населения увеличилась в сорок раз и ныне достигает 6 миллиардов человек. При этом ещё в 1960 г. на земле было всего 3 миллиарда людей, за последние сорок лет численность удвоилась.

БАКТЕРИИ И ПРОТИСТЫ



Кто есть кто
Шесть или семь царств
Беспризорники
Блеск и нищета прокариот
Гастрономические причуды
Кто такие протисты
Дополнительные конструкции
Амебы и их родня
Всякий сброд со жгутиками
Профессиональные паразиты
Верх совершенства
Рыбья пища
Красные и бурые водоросли
Предки растений
Двойники грибов
Суперамебы

КТО ЕСТЬ КТО

За три с половиной миллиарда лет эволюция произвела на свет неисчислимое множество разнообразных живых существ. Окинуть их единым взглядом просто невозможно. И чтобы не запутаться в полчищах мышей, лягушек, амеб, сосен, стафилококков и динозавров, их требуется разложить по полочкам. Вообще, классификация — основа любой науки, и классификация живых существ — основа биологии. Занимается классификацией организмов одна из самых старых и почтенных биологических дисциплин — систематика. Классифицировать объекты можно по самым разным признакам, например по размеру. Или по окраске. Кстати сказать, даже такая классификация лучше, чем никакой. Но систематика недаром так называется — она строит систему. Это значит, что во внимание принимаются в первую очередь родственные связи организмов. На одну полочку укладываются живые существа, сходные по происхождению, а следовательно — сходные по строению. Такая система называется филогенетической, от слова филогенез: фила — по-гречески — племя, и генезис — происхождение. Вообще же, строение и происхождение не совсем одно и то же. Строение может быть в чем-то сходным в результате обитания в сходных условиях. Киты похожи на рыб, а летучие мыши на птиц. Однако киты и летучие мыши довольно близкие родственники, а летучие мыши и птицы —

весьма дальние. Так что раскладывание живых существ по полочкам отнюдь не простое занятие. Нужно учитывать не внешнее сходство и не функцию органа, а его внутреннее строение, его принципиальную конструкцию. Довольно часто принцип устройства можно понять, только рассмотрев в деталях развитие органа в ходе эмбриогенеза — развития зародыша. При таком подходе становится ясным, что в основе китового плавника, крыла летучей мыши и собачьей лапы лежит одна схема, а в основе птичьего крыла — несколько другая. И обе схемы не имеют ничего общего с крылом мухи или бабочки. Однако и этого иногда оказывается мало. В некоторых случаях установить степень родства позволяет только сравнение строения молекул — белка, ДНК или РНК. В некоторых случаях пролить свет на происхождение какой-либо группы организмов позволяет их распространение на планете. Так что хороший систематик должен быть не только хорошим анатомом и представлять себе строение той группы живых существ, которую он систематизирует. Он должен ещё быть в курсе исследований эмбриологов, биогеографов, генетиков, биохимиков и даже экологов, поскольку правильно оценить некоторые особенности строения или распространения животных и растений можно, только зная их образ жизни.

Об одном из основных понятий систематики — виде, и о том, как эти виды выделяют, мы подробно рассказали в главе «Становой

хребет биологии». Повторим ещё раз: вид — это совокупность организмов самой близкой степени родства. Особи одного вида всегда способны скрещиваться и производить на свет плодовитое потомство, если для этого вида вообще характерно половое размножение. Близкие виды объединяются в роды, близкие роды — в семейства. А вот группы близкородственных семейств ботаники и зоологи называют по-разному, ботаники — порядками, а зоологи — отрядами. Родственные отряды (или порядки) объединяются в классы, а родственные классы в типы (зоологи) или отделы (ботаники). Высшая категория — это царство, объединяющее родственные типы (отделы). Впрочем, так обстояло дело до недавнего времени. Около десяти лет назад американец немецкого происхождения Карл Вёзе ввел ещё одну, высшую категорию — домен.

ШЕСТЬ ИЛИ СЕМЬ ЦАРСТВ

Некогда все произведения природы натуралисты делили на три царства — царство минералов, царство растений и царство животных. Надо сказать, что даже при таком простом разделении в классификации царила изрядная путаница. Скажем, примитивных животных, таких как губки или актинии, одно время относили к растительному царству. Но где-то к концу XVIII столетия границу между растениями и животными удалось провести довольно

четко. Однако не надолго. В дело вмешались микробиологи, точнее те, кто назывался тогда микроскопистами, и дело опять запуталось. Мало того что микроскоп позволил обнаружить массу мельчайших существ, не видимых простым глазом, так ещё их изучение показало, что разделить их на растения и животных зачастую просто невозможно. Во второй половине XIX века Эрнст Геккель попробовал решить проблему, введя третье царство — царство протист. К протистам стали относить все одноклеточные создания.

На этом, однако, дело не кончилось. Изучение протист показало, что они делятся на две четко различающиеся группы. Одни одноклеточные имели ядро, подобное ядру клеток всех растений и животных, а другие — бактерии — обходились без него. Мало того, у бактерий обнаружилось довольно много других особенностей, их строение и физиология имели мало общего со строением и физиологией клеток, обладающих ядром. В первой половине XX века американец Герберт Купеланд предложил ввести четвертое царство — царство бактерий. Довольно быстро стало ясно, что наиболее резкая граница пролегает не между царствами, а между бактериями и всеми прочими. Мир живых существ распался на две части — те, кто обладает клеточным ядром (и некоторыми другими внутриклеточными структурами), и те, кто этих структур лишен. Первых стали называть эукариотами (полноядерными), вторых — прокариотами (доядерными).

Но и это ещё не конец. Систематиков давно смущали грибы, которые с незапамятных времен обретались в царстве растений. С развитием физиологических и цитологических исследований становилось всё яснее и яснее, что грибы и прочие растения имеют не больше общего, чем растения и животные. В 1958 г. ситуация «прорвалась» — Роберт Виттакер предложил выделить грибы в особое царство, что и было сделано.

Очередной сюрприз человечеству преподнесли бактериологи. Среди бактерий довольно давно была известна группа так называемых метанообразующих бактерий. Они сильно отличаются от всех прочих бактерий строением клеточной оболочки и особенностями метаболизма. В семидесятых годах XX столетия обнаружилось, что у всех этих бактерий последовательность оснований в рибосомной РНК совершенно другая, чем у всех прочих. Эту группу назвали архебактериями. Затем выяснилось, что к архебактериям относится, помимо метанообразующих, и множество других прокариот. Карл Вёзе показал, что дистанция между обычными бактериями (их теперь называют эубактерии) и архебактериями столь же велика, как между эубактериями и эукариотами. Он выделил архебактерий в отдельное царство (и всего царств стало шесть) и, кроме того, предложил ввести новый, высший таксон — домен.

По современным представлениям, мир живых существ разделяется на три домена: археи, бактерии и эвкарии. Домены архей и бактерий

Современные представления о систематике царств и доменов

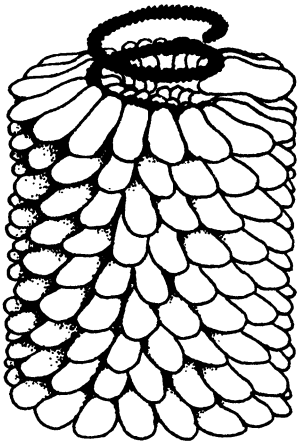
содержат по одному царству, архебактерии и эубактерии соответственно, а домен эвкарий — четыре: протисты, грибы, растения и животные. Происхождение эубактерий и архебактерий — вопрос крайне темный. Существует две гипотезы. Согласно одной, эти организмы возникли независимо друг от друга, то есть это вообще разные формы жизни. Большинство микробиологов склоняется, однако, к мнению, что архебактерии и эубактерии произошли от одного предка, причем разошлись эти ветви вскоре после возникновения жизни вообще, то есть около четырех миллиардов лет назад. При этом архебактерии сохранили больше древних и

примитивных черт, свойственных первым живым существам планеты. Не менее темный вопрос — происхождение эвкарий, точнее, самого древнего их царства, породившего все остальные — протист. Наиболее вероятным считается, что эвкарии, точнее эукариотная клетка, — плод симбиоза нескольких видов бактерий и архебактерий. То есть две формы жизни, разделившись, потом опять слились, породив третью. Об этом мы ещё поговорим чуть позже, а пока скажем несколько слов об ещё одной группе, скажем так, органических комплексов — о вирусах.

Вирусы, на первый взгляд, не имеют ничего общего с другими живыми существами и находятся, строго говоря, между миром живых организмов и миром минералов. Обычно их вообще не включают в систему классификации живых существ. Вопрос — почему не считать их седьмым царством? Дело в том, что вирусы, о которых мы расскажем чуть поподробней в следующей главе, по всей вероятности, произошли из каким-то образом получивших независимость «кусков» нормальных клеток, причем клеток представителей всех трёх доменов.

БЕСПРИЗОРНИКИ

Строго говоря, вирус не более живой, чем какой-нибудь антибиотик или органический яд, которые вмешиваются в биохимические реакции наших клеток и заставляют их выде-

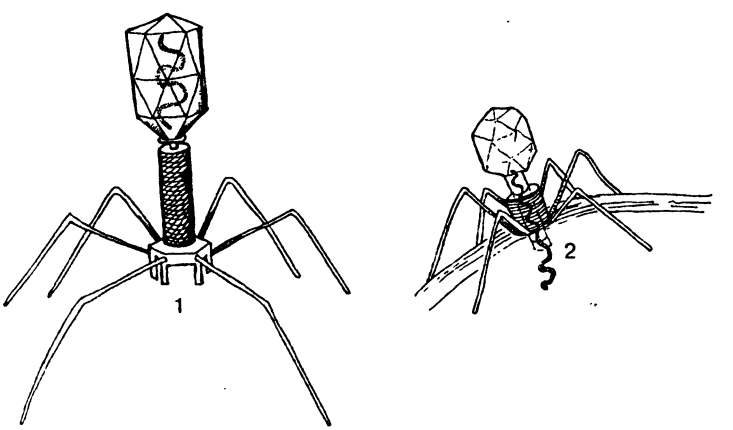


Вирус табачной мозаики

лывать нечто непотребное. Вирусы могут даже кристаллизоваться, что живому организму совершенно не свойственно. Разница лишь в том, что токсины, блокируя одни реакции и вызывая другие, ведут себя в живой клетке как слон в посудной лавке, а вирус заставляет эту клетку производить собственные копии. Причем если одни вирусы в конце концов разрушают клетку или заставляют её выделять вредные вещества, то множество других ведет себя в клетке довольно прилично. Состоят вирусы из молекулы ДНК или РНК и белковой оболочки, которая может включать несколько десятков белковых молекул, а может — и несколько тысяч. У некоторых, особо изощренных, в состав оболочки могут входить липиды. Клетка, в которую проникают вирусы, забывает о своих обязанностях и начинает синтезировать совсем другие белки и нуклеиновые кислоты, штампуя новые вирусы. В результате вирусы вызывают самые разнообразные заболевания, от насморка до бешенства, СПИДа и некоторых форм рака. Но, между прочим, даже от вирусов есть польза. Поскольку они умеют профессионально встраиваться в геном посторонних

организмов, их используют для «пересадки генов» в генной инженерии.

Первая задача вируса — попасть в клетку хозяина. Для этого оболочка вируса связывается с определенным участком на плазматической мембране клетки и «заставляет» эту мембрану впустить вирус внутрь. Вопрос решается чисто биохимически — происходит определенная реакция. Поэтому вирус может проникнуть не во всякую клетку, у его оболочки должно быть «сродство» с определенным участком мембраны клетки-хозяина. Вирус может проникать в клетку целиком, а может оставить белковую оболочку снаружи. У некоторых вирусов, поражающих бактериальные клетки, дело проникновения поставлено ещё более основательно. Вирусы под названием бактериофаги имеют довольно сложную структуру

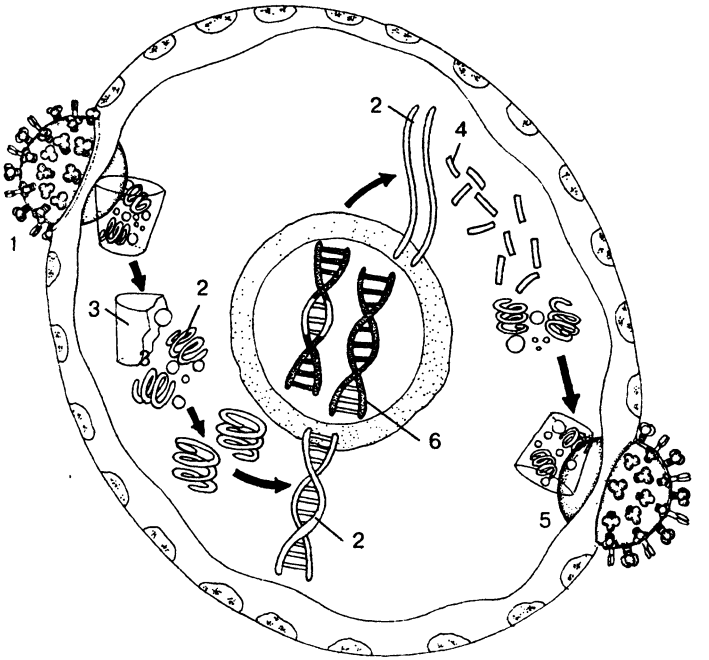


Бактериофаг:

1 — общий вид вирусной частицы; 2 — проникновение ДНК вируса в клетку

и напоминают какого-то робота из мультиков. Они имеют головку, сидящую на толстой «рукоятке», которую называют хвостовым отростком. На конце отростка — шесть длинных нитей, напоминающих паучьи ножки. Ножки прикрепляются к клеточной стенке бактерии и подтягивают к ней все остальное сооружение, прижимая основание отростка к поверхности клетки. Затем отросток сокращается, впрыскивая, как шприц, внутрь бактерии нить ДНК. Пустой белковый «скафандр» остается снаружи, а вирусная ДНК принимается за свое черное дело.

Механизм действия вирусов на клетку сложен и у разных типов вирусов отличается. Но принцип всегда один и тот же — генетическая программа вируса подменяет часть клеточных программ, и клетка начинает синтезировать совершенно не нужные ей белки и нуклеиновые кислоты и собирать из них новые и новые вирусы. Некоторые вирусы заставляют клетку синтезировать не только то, что нужно для их сборки, но и ферменты, которые эту клетку разрушают. Клетка кончает жизнь самоубийством, чтобы новое поколение вирусов могло свободно выбраться наружу. Метаболизм клетки изменяется иногда таким образом, что это выходит боком не столько ей самой, сколько всем окружающим. Некоторые совершенно безобидные для нас бактерии, будучи инфицированы определенными вирусами, становятся смертельно опасными. Однако вирусы могут также перетаскивать от одних бактерий



Развитие вируса в клетке (схема):

1 — прикрепление вируса к мембране клетки; 2 — нуклеиновая кислота вируса; 3 — белковая оболочка вируса; 4 — белки вируса, синтезированные клеткой; 5 — новые вирусные частицы покидают клетку; 6 — ДНК клетки

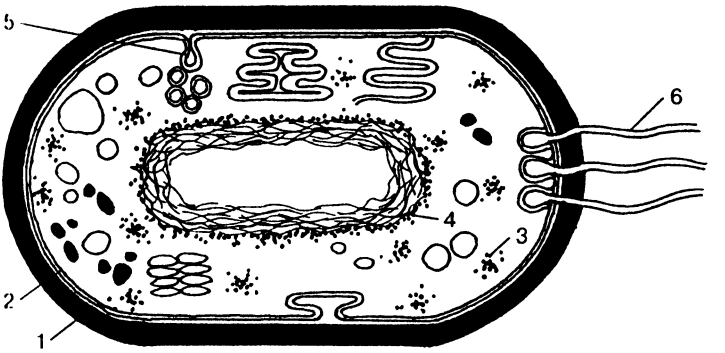
к другим гены, определяющие всякие полезные для этих бактерий свойства.

Что такое вирусы — мы в двух словах рассказали. А вот откуда они взялись? Среди неспециалистов довольно широко распространено даже не убеждение, а некое смутное ощущение, что вирусы, стоящие на грани живого и неживого, это некий прообраз первых форм жизни. На самом деле — ничего подобного. Вирусы — продукт весьма продвинутых

созданий, стоящих на высокой ступени эволюционного развития. Предполагается, что вирусы — это куски генома вполне добропорядочных клеточных организмов, прокариот и эукариот, утерянные в результате различных несчастных случаев. Некоторые из этих беспризорных обрывков генома оказались способными, встретившись с благополучной здоровой клеткой, «втираться в доверие» дружной семьи макромолекул. По-видимому, и сейчас из хромосом и матричной РНК различных организмов продолжают возникать новые типы вирусов. Однако главный источник новых вирусов — все же изменения старых. Вирусы способны мутировать ничуть не хуже клеточных организмов. Кроме того, захватывая или теряя куски генома, а у вирусов с этим делом довольно просто, они также способны приобретать новые свойства.

БЛЕСК И НИЩЕТА ПРОКАРИОТ

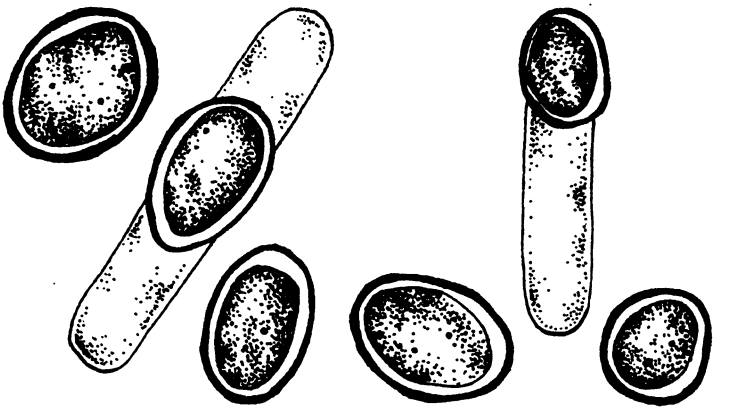
А теперь вернемся к прокариотам. Хотя эубактерии и архебактерии, как выяснилось, две большие разницы, но по строению клетки, размножению и образу жизни многие из них необыкновенно похожи. Точнее — представители обоих доменов проявляют одинаковое разнообразие. Недаром, чтобы понять, что это очень разные формы жизни, пришлось углубляться в молекулярное строение и особенности обмена этих существ. Поэтому для начала



Строение клетки прокариот:

1 — клеточная стенка; 2 — клеточная мембрана; 3 — рибосомы; 4 — кольцевая молекула ДНК в цитоплазме; 5 — складки наружной мембраны; 6 — жгутики

мы расскажем об общих чертах прокариот. Размер большинства этих существ — около одного микрона. То есть на миллиметровом делении линейки можно уложить около тысячи прокариот. Прокариота — клетка, но клетка примитивная, гораздо более примитивная, чем любая клетка нашего с вами организма. Как и у всякой клетки, у прокариоты имеется плазматическая мембрана — это такая хитрая пленка, которая не дает содержимому клетки растекаться, обеспечивает поступление в клетку одних веществ и удаление других, а кроме всего прочего служит местом протекания множества биохимических реакций. Плазматическая мембрана — вещь недостаточно прочная, и большинство прокариот одето поверх мембраны клеточной оболочкой. Оболочка также имеет сложный состав, и, как и мембрана, это не просто пузырь, предохраняющий



Прорастающие споры бактерий

клетку от различного рода неприятностей, подобно скорлупе созревшего ореха. Клеточная оболочка, скорее, похожа по своему назначению на кожу позвоночного. Она участвует в газообмене, в поглощении и выделении различных веществ; в клеточных оболочках часто идут процессы «пищеварения» бактериальной клетки — поглощение и ферментативная обработка питательных веществ. Поверх оболочки многие бактерии имеют ещё слизистую капсулу. Некоторые бактерии способны в неблагоприятных условиях отращивать особо толстую оболочку и «впадать в спячку». Такие «спящие» бактерии называются цистами. Другие создают внутри себя толстостенную капсулу, содержащую в «сжатом» виде копию материнской клетки. Это образование называется эндоспорой. В случае всякого рода неприятностей носители эндоспор гибнут, но сами споры могут сохранять жизнеспособность в самых невообразимых

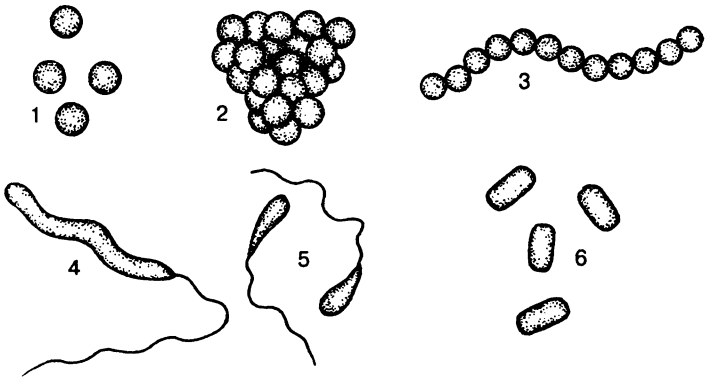
условиях десятки, сотни и даже тысячи лет, выжидая, пока судьба повернется к ним лицом.

Внутри прокариотической клетки содержится всё необходимое для обмена веществ: вода, белки, углеводы, нуклеиновые и рибонуклеиновые кислоты, о которых мы уже писали в главе «Содружество молекул». Но вот внутренних мембран в прокариотных клетках нет и, соответственно, нет и органелл — митохондрий, пластидов, эндоплазматической сети и самого ядра. Впрочем, наружная мембрана образует глубокие складчатые впячивания — мезосомы. Именно на мезосомах идет большинство реакций синтеза. Всё это не значит, однако, что метаболизм у прокариот менее сложен, чем у эукариот, у которых есть и ядро, и митохондрии, и всё прочее. Мало того, в области синтеза прокариоты способны на такие штуки, которые недоступны их потомкам, эукариотам. Например, только прокариоты (не все) могут фиксировать атмосферный азот. Поскольку азот — одна из важнейших составляющих белковых молекул, то существование всех остальных организмов планеты зависит от азотфиксирующих бактерий. Серы в живых организмах содержится, конечно, меньше, чем азота. Но и сера — необходимый компонент ряда аминокислот и, соответственно, белков. И ни один живой организм, кроме прокариот, не может использовать серу в каком-либо ином виде, кроме как в виде солей серной кислоты — сульфатов. А практически все сульфаты в почвах — продукт деятельности прокариот.

И наконец, только среди прокариот есть создания, способные извлекать энергию из минеральных веществ: азота, серы, железа, водорода и сероводорода.

Форма «тела» прокариот довольно разнообразна, но в целом бактериологи делят их на четыре группы — бациллы (палочковидные формы), кокки (сферические), спириллы (длинные, закрученные спиралью) и вибрионы (изогнутые палочки). Бывают ещё нитевидные клетки, которые особого названия почему-то не получили. Разделение это условно, родства прокариот не отражает никоим образом и принято более для удобства. Хотя прокариоты по преимуществу одноклеточные существа, но многие из них склонны к образованию групп или колоний. Некоторые кокки после деления образуют устойчивые пары — диплококки. К диплококкам, кстати, относится возбудитель пневмонии. Многие кокки образуют цепочки (стрептококки) или гроздья (стафилококки). У некоторых прокариот деление идет не до конца, и цепочки связанных друг с другом клеток образуют длинные нити, достигающие метра в длину. Есть прокариоты, которые образуют сложные колонии, состоящие из миллионов клеток, одетых общей слизистой оболочкой.

Некоторые прокариоты неподвижны, они разносятся движением воды и воздуха, и их благополучие зависит от счастливого случая. Но многие способны активно передвигаться. Некоторые спирохеты и вибрионы передвигаются за счет изгибов тела. Есть эубактерии, ко-



Формы клеток бактерий:
1 — кокки; 2 — стафилококки; 3 — стрептококки; 4 — спирохета; 5 — вибрионы; 6 — палочки

торые выделяют обильную слизь и волнообразными движениями оболочки гонят её назад, создавая своего рода «реактивную тягу». Но есть у прокариот и специальные органы передвижения — жгутики, играющие ту же роль, что и у эукариот, но устроенные совершенно иначе.

Скорость движения бактерий, обладающих жгутиками, порядка 20 микрон в секунду — весьма приличная скорость, аналогичная скорости 20–30 метров в секунду (более 70 км/час) для лошади. Движутся прокариоты не абы как. Они способны различать присутствие в окружающей среде определенных веществ, как полезных для них, так и опасных, и двигаются в соответствующем направлении. На наружной поверхности плазматической мембраны бактерий обнаружено около трех десятков различных белковых комплексов, играющих роль хеморецепторов — «органов» обоняния

(или, если хотите, вкуса). Часть этих рецепторов реагирует на различные «привлекательные» вещества, другая — на непривлекательные. А вот как информация с хеморецепторов передается на жгутики — этого пока никто не знает.

Как-то принято считать, что общественная жизнь и коллективные действия — удел существ высокоразвитых. На самом же деле склонность к объединению обнаруживается уже у прокариот. Миксобактерии — бациллы, двигающиеся «реактивным скольжением» в собственной слизи. Они вполне способны вести одиночную жизнь, каковую и ведут сплошь и рядом в почве, в разлагающихся растительных остатках и в мелких лужах. Однако чаще они встречаются скоплениями. Такое скопление — тонкая слизистая пленка, в которой содержатся тысячи и миллионы бактерий — согласованно движется по поверхности субстрата и, встретив что-либо съедобное, накрывает собою и переваривает при помощи дружно выделяемых ферментов. Попав в неблагоприятные условия, такое скопление стягивается и выпячивается сначала бугорком, а потом этот бугорок превращается в деревце, на ветвях которого сидят округлые «плоды». Размер «деревца» не так уж и мал, «деревце» может достигать миллиметра в высоту. Ствол и ветви состоят из огромного числа погибших бацилл, а плодовые тела содержат споры — часть членов колонии, впавших в спячку до лучших времен.

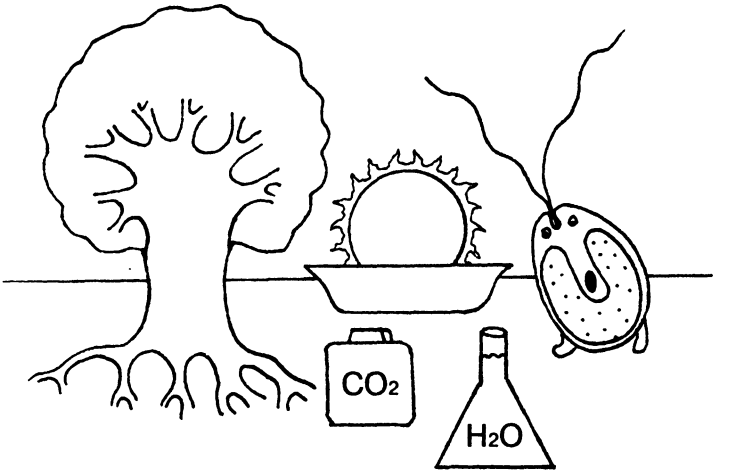
Форма клетки, строение клетки, способ передвижения, способ размножения — разнообразие всех этих признаков и свойств у прокариот, в общем, невелико. С точки зрения нормального человека, привыкшего классифицировать объекты по их строению, разложить прокариот по полочкам не составляет труда. Увы, это приятное заблуждение профана. Другой такой запутанной области, как систематика прокариот, в естественных науках, пожалуй, не существует. Дело в том, что привычные мерки, с которыми систематики подходят к грибам, паукам, крокодилам и прочим эукариотам, в мире прокариот не годятся. Разнообразие эукариот — это действительно в основном разнообразие строения, биохимическая же основа у всей этой публики одинакова до противного. А вот у прокариот — всё наоборот. Их разнообразие — это разнообразие биохимических процессов и, соответственно, разнообразие процессов питания и дыхания.

Прежде всего прокариоты способны получать энергию не двумя, а тремя разными способами: использовать энергию солнечного света (фототрофы); использовать энергию окисления минеральных веществ (хемотрофы); получать энергию за счет окисления органических веществ (органотрофы).

Изучение прокариот продвигается медленней, чем хотелось бы, как раз потому, что они способны существовать в самых немыслимых условиях. От дохлой

прокариоты бактериологу мало пользы, поскольку внешне все они довольно однообразны. А вот чтобы изучить особенности их обмена, их нужно вырастить в культуре. А вы представляете себе, что такое создать культуру организмов, живущих в абсолютной темноте, при давлении в 500 атмосфер, питающихся водородом и требующих температуры 200°? Именно поэтому, например, анаэробные бактерии до сих пор изучены существенно хуже кислородных, а хемосинтетики — хуже органотрофов. Иной раз у бактериологов просто фантазии не хватает, чтобы создать условия, в которых будет расти какой-либо вид бактерий. И потому эти бактерии науке до сих пор не известны.

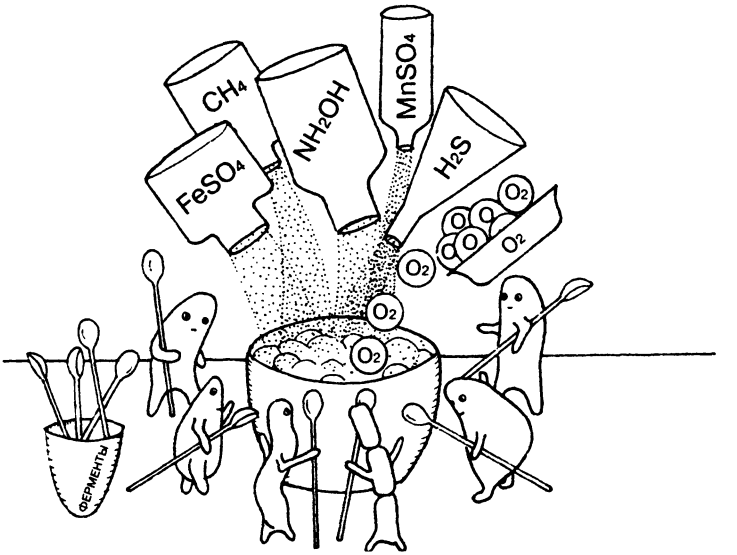
Среди фототрофов есть автотрофы, которые синтезируют органику из минеральных соединений. Одни производят углеводы из углекислого газа и воды, подобно зеленым растениям. А есть и такие, которые вместо воды пользуются совершенно другими соединениями, например сероводородом. Ну, это ещё куда ни шло. Так ведь некоторые фототрофы используют в качестве источника углерода углекислый газ, но источником водорода вместо воды сероводорода или другого минерального соединения у них служат спирты или органические кислоты. То есть они «фото», но уж никак не «авто», поскольку нуждаются в готовой органике. Для этой публики придумано название «фотогетеротрофы», хотя с гетеротрофными эукариотами всё это имеет очень немного общего. Мало того. Есть среди фототрофных прокариот совершенно уникальные существа, которые используют энергию солнечного света не для синтеза топлива, а толь-



Фототрофное питание

ко для «зарядки» АТФ, а питательные вещества потребляют готовые. Эти создания настолько не лезут ни в какие ворота, что для их способа питания-дыхания даже названия соответствующего не смогли придумать.

Хемотрофы получают энергию, окисляя неорганические вещества — аммиак, серу и её соединения, соединения железа, водород. К хемотрофам относят и прокариот, окисляющих метан, хотя, строго говоря, метан — органическое соединение и большая часть метана на нашей планете есть результат деятельности метанообразующих архебактерий. Часть хемотрофов использует в качестве окислителя кислород. Но есть среди них и анаэробы, у которых окислителем служат другие вещества. Получаемая энергия аккумулируется в молекулах АТФ и далее обычно используется не

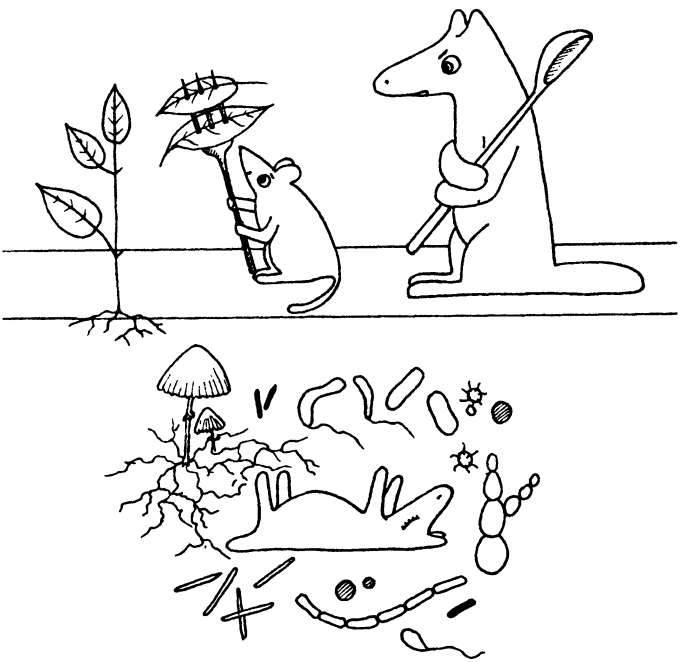


Хемотрофное питание

для синтеза универсального топлива, а напрямую обеспечивает биохимическую кухню прокариоты. Вообще, хемотрофы в качестве источника углерода используют углекислый газ, поэтому к ним вполне применим термин «автотрофы». Но на самом деле у некоторых из них, например у метанообразующих архебактерий, механизм фиксации углерода настолько замысловат и необычен, что никаких аналогий с привычной схемой синтеза у автотрофных эукариот углядеть невозможно. И многие бактериологи предпочитают термин «хемолитотрофы».

К органотрофам относятся прокариоты, которые получают энергию, окисляя органические вещества, и эти же вещества использу-

ют в качестве источника углерода. Собственно, в этой части своей жизнедеятельности они подобны нормальным гетеротрофам: привычных нам всем слонам, мухам, грибам и аскаридам. Однако, строго говоря, сходство это во многих случаях очень и очень поверхностное, потому бактериологи часто предпочитают термины «органотрофы» или «хемогетеротрофы». Дело в том, что у прокариот, это касается не только органотрофов, существуют такие наборы ферментов, такие метаболические пути и такие продукты метаболизма, которые эукариотам не приснятся и в страшном сне.



Органотрофное питание

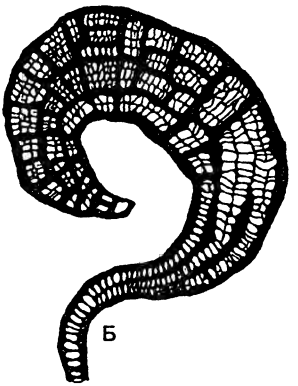
В Антарктиде, в пробах льда, взятых с глубины более 500 м, обнаружены вполне жизнеспособные бактерии, «оживающие» при повышении температуры. Возраст этих отложений — около 20 000 лет, то есть, вполне вероятно, бактерии вмерзли в лед, когда по Европе ещё бродили стада мамонтов и шерстистых носорогов, на которых охотились наши волосатые предки. В той же Антарктиде существуют озера, укрытые толстым слоем нетающего льда. Сквозь лед и снег туда проникает некоторое количество света, и здесь существуют сообщества прокариот, группирующихся вокруг фотосинтезирующих цианобактерий.

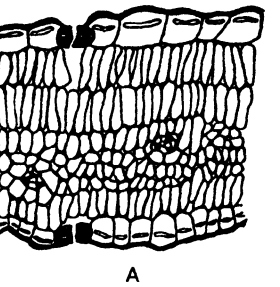
КТО ТАКИЕ ПРОТИСТЫ

Первое царство домена эукариот — это царство протист. Некогда в царство протист согнали всех одноклеточных, включая прокариот. Потом прокариот отделили и стали ломать голову, что делать с теми существами, которые в царстве остались. Беда заключалась в том, что провести пусть не совсем четкую, но хоть какую-то мало-мальски определенную границу между протистами и другими царствами домена эвкарий не удавалось. Это только кажется, что всё так просто — протисты одноклеточные, а все прочие многоклеточные. На самом деле между теми и другими существует масса переходных форм, от простых колоний, состоящих из пары десятков совершенно одинаковых клеток, до весьма сложных образований, включающих сотни и тысячи клеток, выполняющих разную работу. Как вы помните, многоклеточные формирования имеются даже у прокариот.

Смутное время в домене эвкарий продолжалось до самого недавнего времени, до тех пор, пока в царство протист не депортировали множество подданных высших царств, которые не обладали хорошо выраженными тканями. Ткань — это группа специализированных клеток, одного типа или разных, выполняющая определенную работу — например, обеспечивающих перенос питательных веществ, или дающих опору и защиту телу или отдельным органам (соединительная ткань), или обеспечивающих движение (мышечная ткань) и так далее. Было принято решение: все эукариоты, не обладающие тканями, — протисты. Когда депортация была завершена, границы стали гораздо более четкими, и пограничные конфликты в среде биологов пошли на убыль.

Хотя, надо сказать, всё далеко не так просто — посмотрел на организм, не обнаружил тканей, отправил в царство протист. Мы уже не раз говорили, что биология особая наука, она имеет дело с объектами, которые эволюционируют, изменяются, причем медленно и постепенно. И провести грань между «уже тканью» и «ещё не тканью» бывает невозможно. Поэтому принимаются во внимание признаки, которые характеризуют группу в целом — «главные» признаки, составляющие её сущность. Например, некоторые водоросли обладают системой клеток, очень похожей на проводящую ткань растений. Но их ближайшие родственники могут таких «тканей» не иметь и при этом сохранять все фамильные признаки водорослей.





Строение листа растения (А) и слоевища водоросли (Б)

И если у продвинутых членов группы эти «ткани» отобрать, они просто превратятся в своих «бестканевых» родичей. Иногда это можно проделать буквально, хирургическим путем, и водоросль будет благополучно существовать. А вот лишить тканей дуб, папоротник или мышь невозможно. Мышь — это система тканей, без них она перестанет быть мышью.

Мало того, существует царство грибов, у которых, хоть тресни, настоящей тканевой организации нет. Но и от всех прочих «бестканевых» организмов они отличаются, отличаются механизмом клеточного деления, которого нет ни у одной другой группы живых существ. Так что наиболее точный ответ на вопрос, кто такие протисты, следующий — это все живые существа, которые обладают клеточным ядром, не имеют нормальных тканей и не относятся к грибам. Смех смехом, но такой подход к делу очень упростил ситуацию.

Теперь в царстве протист благополучно существуют многие группы, которые раньше относили, скажем, к грибам — но эти грибы были настолько на грибы непохожи, что было совершенно непонятно, куда их в этом царстве приткнуть — и которые прозябали на роли каких-то деклассированных элементов. Из царства растений ушли все организмы, которые называются водорослями. Среди них есть как одноклеточные, что вносило путаницу, так и многоклеточные, даже очень многоклеточные, но которые с большинством других растений не имели совершенно ничего общего не только по строению, но, главное, по биохимии и структуре нуклеиновых кислот. Объединяла их только эукариотность и способность к фотосинтезу. Кстати, в царстве растений в свое время пытались пригреть даже фотосинтезирующих прокариот — цианобактерий, которые в память о тех временах до сих пор носят в качестве второго имени имя синезелёных водорослей. С облегчением вздохнули и зоологи, которым теперь не надо втискивать в систему животного царства амеб и инфузорий, которые в эту систему никак не лезут просто потому, что не имеют к настоящим животным никакого отношения.

На этом, однако, проблемы не закончились. Предками протист, несомненно, были какие-то древние прокариоты. Но, судя по строению и биохимии разных групп протист, представляется очень вероятным, что эти группы произошли от весьма разных прокариот и, быть

может, некоторые из них приобрели особенности эукариотной организации независимо друг от друга. А это значит, что царство протист вовсе не царство, а, так сказать, конфедерация. И быть может, грибы — вовсе не член триумвирата высших царств, а как раз входят в эту конфедерацию. Попытки разделить протист на несколько царств предпринимаются регулярно, но единой точки зрения, куда кого относить, пока не выработано. Проблема заключается ещё и в том, что часть протист ранее входила в епархию зоологов, у которых совсем иные подходы к классификации организмов, чем у ботаников, в ведении которых находилась остальная часть. Ныне протистологи выделяют в царстве протист от полутора до трех десятков отделов, в основном руководствуясь «ботаническими» критериями — особенностями деления клетки и её биохимией. Зоологи, по привычке обращая основное внимание на строение организма, обычно норовят всех подведомственных им неавтотрофных протист свалить в один отдел (тип). Получается у них это плохо, и мы следовать им не будем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

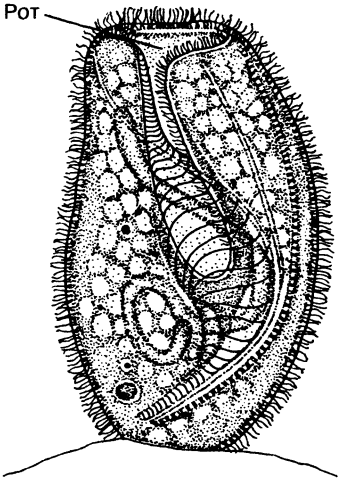
Протисты — эукариоты, и у них есть все, что положено нормальной эукариотной клетке. Однако типовой проект часто дополняется различными конструкциями, которые позволяют одноклеточной протисте существовать в

этом непростом мире. Прежде всего, большинство протист одето, помимо цитоплазматической мембраны, клеточной оболочкой. Эта оболочка, как и клеточная оболочка прокариот, прежде всего защищает клетку от повреждений. Но её роль этим не ограничивается. Клеточная оболочка активно участвует в поглощении, транспорте и выделении веществ, то есть это не мертвая броня, как раковина у моллюсков, а вполне жизнедеятельный орган, подобный коже животных.

У некоторых протист, в основном фотоавтотрофных, эта «кожа» состоит из полисахаридов, её основой являются волокна из молекул целлюлозы или хитина, сплетенных в более или менее плотный каркас. Клеточная оболочка может для прочности пропитываться известью или кремнеземом, превращаясь в настоящий панцирь. У других, в основном гетеротрофных, под цитоплазматической мембраной лежит густое сплетение белковых молекул — пелликула.

«Кожа» — вещь хорошая, но фагоцитоз при её наличии, как вы сами понимаете, затруднителен. И у протист, которые обзавелись плотной «кожей», но не захотели отказываться от питания крупными частицами (например, многие жгутиковые, инфузории), возник «рот» — постоянное отверстие в оболочке.

Рот одноклеточных называется цитостомом. Здесь цитоплазматическая мембрана впячивается внутрь клетки конусом. Называется этот конус глоткой, и именно на конце



Инфузория бурсария

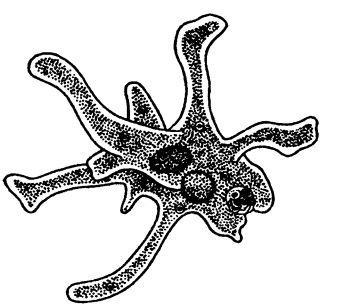
глотки и образуется пищеварительная вакуоль. Пища в глотку загоняется часто жгутиками или ресничками, а у некоторых протист в глотке есть даже «зубы» — палочки из микротрубочек. Этими «зубами» протиста разрывает клеточную оболочку бактерий, которыми питается.

Для очень многих протист характерна особая органелла — сократительная вакуоль. В отличие от вакуолей пищеварительных, сократительная вакуоль — постоянное образование. Это своего рода орган выделения, прежде всего выделения излишков воды.

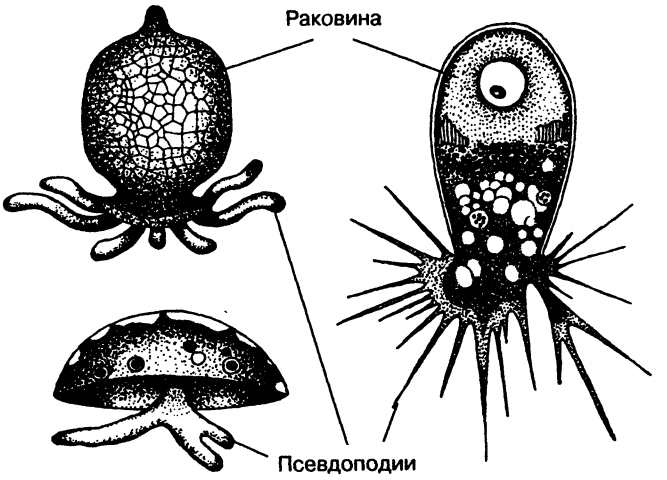
Цитоплазма — это концентрированный водный раствор всяческих веществ. Соответственно, согласно законам осмоса, вода стремится проникнуть в клетку, и ей это удается. Чтобы не разбухнуть и не лопнуть, клетка и обзавелась сократительной вакуолью, в которую накачивается вода вкупе с отходами клеточного метаболизма. Время от времени вакуоль сокращается и выбрасывает свое содержимое наружу, подобно тому, как выбрасывает непереваренные остатки пищеварительная вакуоль.

АМЕБЫ И ИХ РОДНЯ

Амеба, известная каждому из школьного учебника зоологии, относится к отделу саркодовых, классу корненожек. Саркодовые — один из отделов протист, ранее безраздельно принадлежавших царству животных. Амебы — убежденные одноклеточные одиночки. Найти их можно практически повсюду, где есть вода и пригодные в пищу частицы. В общем, неважно какие. Бактерии, мелкие собратья протисты, частички мертвой органики — все идет в дело, корненожки не привередливы. Они живут в почве, на дне морей и озер, ползают по водным растениям, некоторые с комфортом устроились в кишечнике позвоночных. О внутреннем строении амеб рассказывать, наверное, не стоит — оно достаточно подробно описано в учебнике. В общем, это типичная эукариотическая гетеротрофная клетка, окруженная мембраной и не имеющая плотной клеточной стенки. Поскольку амеба существо, по сути, жидкое, то и передвигается она путем «перетекания». В направлении движения вытягивается отросток — псевдоподия. Содержимое клетки переливается в отросток, и амеба смещается вперед на длину псевдоподии. Псевдоподии используются и для захвата пищевых



Амёба

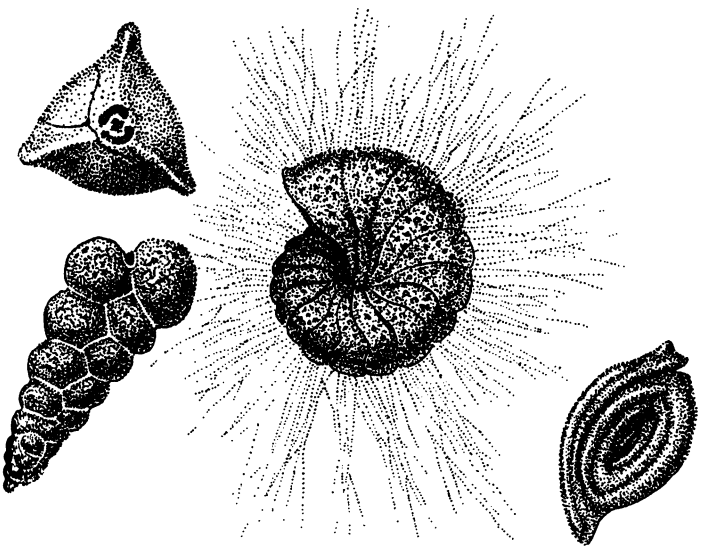


Раковинные амёбы

частиц. Размножение наблюдалось только бесполое — путем простого митотического деления. Ближайшие родственники амеб — раковинные амебы. Это жители пресных вод, которые отличаются от своих «голых» родственников главным образом наличием панциря. Этот панцирь, или раковина, имеет вид кувшинчика, из отверстия которого высовываются псевдоподии. Состоит раковина из хитина, часто в состав панциря включаются частицы песка.

Ещё одна группа амебиных родственников, уже не столь простых, это фораминиферы — обитатели морей. Эти существа тоже пользуются раковиной, которая у разных видов имеет самую разную форму — кувшинчика, трубочки, конуса, «улитки» и множество других, для описания которых нет слов.

В простейшем случае раковина состоит из хитина или из хитина, инкрустированного зернами песка. Но у продвинутых фораминифер раковина пропитана углекислым кальцием, веществом, из которого состоят раковины моллюсков и кости позвоночных. Такая раковина прочнее и легче инкрустированной. Псевдоподии фораминиферы, высовывающиеся из устья раковины, тонкие и длинные, способные сокращаться и вытягиваться, как положено приличным псевдоподиям. Псевдоподии ветвятся, переплетаются и сливаются друг с другом, образуя вокруг фораминиферы сложную сеть. Основное назначение этой сети — улавливание добычи, главным образом одноклеточных водорослей и бактерий. Большинство видов



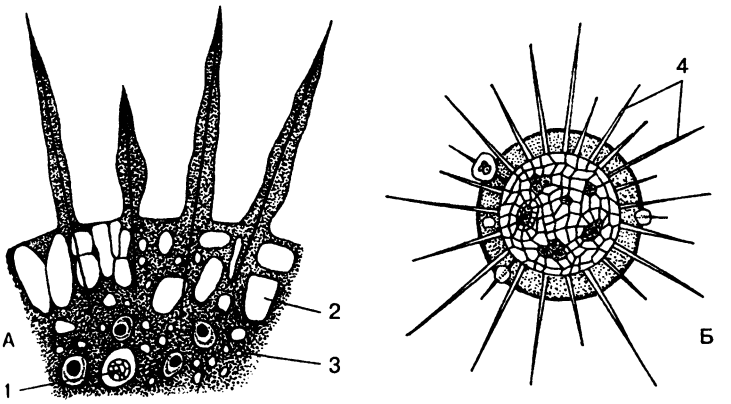
Фораминиферы

фораминифер — жители дна, но есть среди них и виды, которые «парят» в толще воды.

Раковины фораминифер — довольно прочное образование. Когда фораминифера гибнет, пропитанная известью раковина опускается на морское дно. Накапливаясь на протяжении тысяч и миллионов лет и постепенно уплотняясь, фораминиферовый ил превращается в тонкозернистые известняки. В частности, писчий мел состоит почти целиком из спрессованных раковинок этих созданий, живших в морях более ста миллионов лет назад.

Вообще же фораминиферы очень древние существа, их раковинки находят в отложениях докембрия, имеющих возраст свыше полумиллиарда лет. Для каждого периода земной истории характерен свой набор видов фораминифер, и по форме раковин можно определить, к какому периоду относятся те или иные отложения.

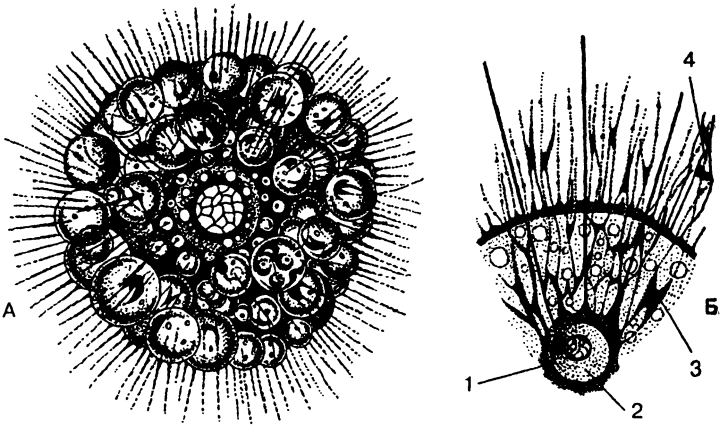
Кроме корненожек, в отдел саркодовых входят ещё радиолярии и солнечники. Солнечники — немногочисленная, плохо изученная группа, обитающая как в пресных, так и в морских водах. Радиолярии — исключительно морские организмы, парящие в толще воды. Эти протисты обзавелись внутренним скелетом, конструкцией необыкновенно изящных и причудливых форм. Скелет может иметь вид вложенных друг в друга ажурных шаров, колокола, двойной короны, шлема, пирамиды и Бог знает чего ещё. Это сооружение обычно дополняется расходящимися ра-



Солнечник:

А — участок поверхности клетки при сильном увеличении; Б — общий вид клетки; 1 — пищеварительные вакуоли; 2 — сократительные вакуоли; 3 — многочисленные ядра; 4 — лучи с псевдоподиями

диально длинными иглами. Некоторые из этих игл образуют внутренний стержень тонких псевдоподий, некоторые просто торчат наружу из шарообразного тела радиолярии. Все это сооружение выполняет одновременно несколько функций. Прежде всего это арматура, позволяющая сохранять постоянную форму полужидкому, довольно крупному (часто несколько миллиметров в диаметре), одноклеточному телу радиолярии. Тонкие иглы, подобно пуху семян тополя, позволяют радиолярии парить в толще воды. Кроме того, иглы оказываются довольно эффективной защитой, во всяком случае от мелкой живности, сравнимой с радиолярией по размеру. Скелет состоит из окисла кремния, то есть, по сути, из вещества, аналогичного кварцу.



Радиолярия:

А — общий вид; Б — участок клетки при сильном увеличении; 1 — ядро; 2 — слой плотной цитоплазмы; 3 — пенистый слой цитоплазмы; 4 — псевдоподии

Но у некоторых оригиналов, относящихся к порядку акантарий, скелет формируется из сернокислого стронция.

ВСЯКИЙ СБРОД СО ЖГУТИКАМИ

Многие протисты обладают во взрослом состоянии жгутиками и способны активно передвигаться. Всех таких протист некогда объединяли в одну группу — жгутиковые, они же флагелляты, они же мастигофоры. Но постепенно, по мере того как становились известны подробности строения и метаболизма этих созданий, группа разваливалась на части. Оказалось, что многие жгутиковые вообще, по-видимому, не состоят друг с другом в близком

родстве. Похоже, что жгутики были приобретены ещё самыми первыми эукариотами, и, соответственно, эти жгутики имелись у предков всех групп современных протист. Часть из них, например амебы, эти жгутики утеряла полностью, другая часть сохранила жгутики только для жизни на определенной стадии цикла. Обычно жгутики сохраняются у гамет, которым требуется перемещаться в поисках пары. А некоторые протисты, самого разного происхождения, от жгутиков отказываться не стали. Вот этих-то разноплеменных созданий и свалили некогда в одну кучу, назвав жгутиковыми (флагеллятами, мастигофорами).

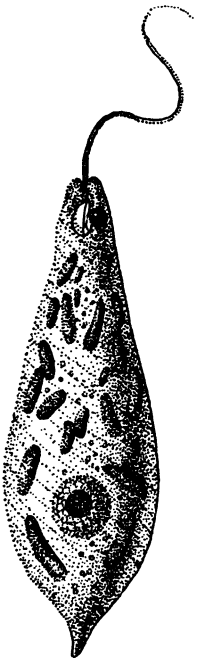
Из сбродной толпы жгутиковых мало-помалу отделялись самостоятельные отделы. Например, отдел хризофитов (золотистые водоросли) выделился из мастигофор. Довольно многие жгутиковые, как оказалось, являются членами древнего и почтенного отдела зеленых водорослей. А всё, что осталось, оказалось сваленным в один отдел зоомастигофор (то есть «животноподобных жгутиковых»).

Один из наиболее важных признаков протисты — это наличие или отсутствие у нее клеточной оболочки, а также из чего эта оболочка строится. Все протисты, которые «ушли» из отдела зоомастигофор, имели жесткую клеточную стенку из целлюлозы или подобных целлюлозе полисахаридов. Все они вдобавок оказались фотосинтетиками, хотя с разным типом митоза и разным составом хлорофилла. А вот все, кто остался в отделе зоомастигофор,

жесткой клеточной стенки не имеют. Вместо нее у них под цитоплазматической мембраной существует более или менее плотная сетка из переплетающихся белковых молекул — пелликула. Это, да ещё наличие жгутиков — вот и всё, что объединяет зоомастигофор. Близкое родство всех этих созданий не доказано, как не доказано и происхождение от разных предков. Среди зоомастигофор есть фотоавтотрофы (всем известная эвглена), есть свободные гетеротрофы, есть симбионты, помогающие пищеварению своего содержателя, есть злостные паразиты, вызывающие опасные заболевания. Последних, увы, весьма много. Изысканными жизненными циклами зоомастогофоры не блещут — размножаются простым делением, половой процесс для большинства видов неизвестен.

Эвглена, которую в школьных учебниках до сих пор пытаются отнести то к животным, то к растениям, на самом деле ни то и ни другое. Она относится к классу эвгленоидных из отдела зоомастигофор. Эвгленоидные — группа протист, почти исключительно пресноводных, в которую входит около 800 видов и которая от всех прочих зоомастигофор отличается по большому счету только одним — наличием хлоропластов. Наличие хлоропластов и состав хлорофилла, такой же как у зеленых водорослей и растений, сбивает с толку. Но, по-видимому, эвглены приобрели свои хлоропласты независимо от зеленых водорослей, просто они заглатывали тех же бактерий,

что и предки этих водорослей. Точнее, не тех же, а похожих. Запасы топлива у эвглен откладываются не в виде крахмала, как у зеленых водорослей и растений, а в виде полисахарида парамилона. Никто другой, кроме эвглен, этого вещества не синтезирует. Митоз у эвглен идет таким образом, что ядерная оболочка не разрушается. Центриоли, веретено и все прочие прибамбасы формируются внутри ядра, затем ядро делится вместе со всей остальной клеткой. Этот вариант митоза абсолютно чужд растениям и животным, но довольно обычен в самых разных группах протист.



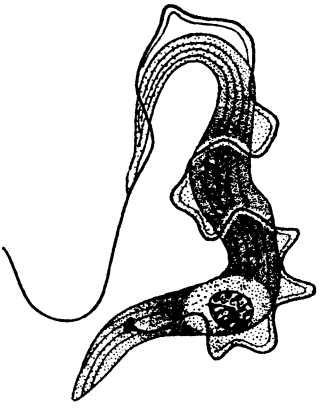
Эвглена

Заглатывать бактерий эвглены продолжают и сейчас. Многие виды способны прекрасно существовать в полной темноте только за счет гетеротрофного питания. Мало того, есть виды, живущие в отложениях ила, у которых хлоропластов не бывает вообще. Забавней всего, что, когда пищи много, некоторые эвглены начинают делиться быстрее, чем хлоропласты. Появляются лишенные хлоропластов особи, которые могут благополучно существовать и размножаться. Пока еда не кончится. У зеленых эвглен в основании жгутика есть особое фоточувствительное вздутие,

экранированное с одной стороны специальным тельцем — стигмой. Стигма содержит оранжевый пигмент, в результате эвглена способна различать, с какой стороны на нее падает свет. С помощью этого «глаза» эвглена ориентируется и может выбирать места с подходящей освещенностью. У бесцветных эвглен, лишенных хлоропластов, стигмы нет. И это понятно: зачем она им нужна, если они не занимаются фотосинтезом и в темноте им не хуже, чем на свету.

Среди пяти-шести отрядов (или классов?) чисто гетеротрофных зоомастигофор большинство видов, к сожалению, паразиты, причем иногда весьма опасные. Лейшмании, трипаносомы, трихомонады, лямблии — все это жгутиковые, которые вызывают массу неприятнейших заболеваний, в том числе смертельных, вроде сонной болезни или лихорадки кала-азар. Правда, не все гетеротрофные зоомастигофоры столь зловредны. Есть среди них честные симбионты, например многожгутиковые гипермастигины. Это обитатели кишечника тараканов и термитов, для которых они переваривают целлюлозу. Поскольку термиты (и многие тараканы) питаются сухой травой, листьями, древесиной и тому подобной постной пищей, в которой кроме целлюлозы почти ничего и не осталось, то без своих симбионтов они бы просто погибли с голоду, так как собственных ферментов, разлагающих целлюлозу, они не имеют. Есть среди гетеротрофных зоомастигофор и свободные

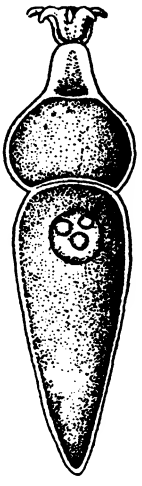
охотники. Например, жгутиковые из рода Бодо — ближайшие родственники трипаносом. Это жители в основном пресных луж, в которых они питаются одноклеточными водорослями и бактериями. Чем грязнее лужа, тем лучше чувствует себя бодо. Рай земной, с его точки зрения, это лужи навозной жижи около коровников и выгребные ямы. Здесь эти жгутиконосцы прямо кишмя кишат.



Трипаносома

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ПАРАЗИТЫ

Ещё две группы протист, ранее относившихся к царству животных, — споровики и книдоспоридии — ведут исключительно паразитический образ жизни. Мы расскажем здесь только о некоторых споровиках. К споровикам относятся завоевавшие мрачную славу возбудители малярии и менее известные широкой публике грегарины, саркоспоридии и кокцидии. Грегарины — паразиты кишечника беспозвоночных. С позвоночными они дела иметь не желают, вреда человечеству не приносят и потому эти странные существа известны только узкому кругу зоологов. Нормальный человек,

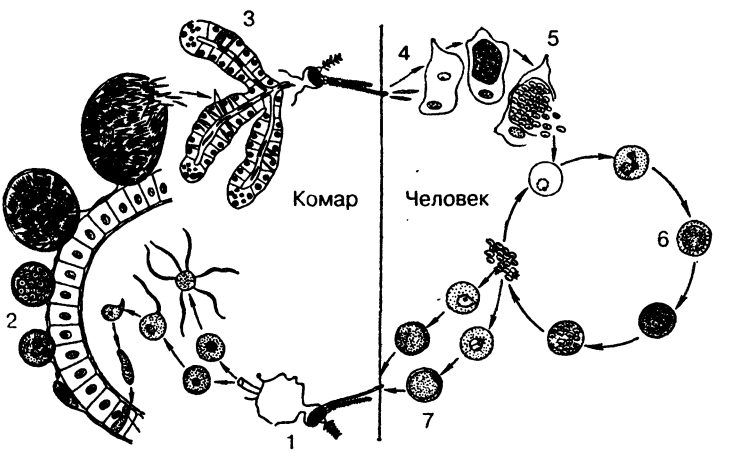


Грегарина

встретив грегарину (а некоторые из них достигают полутора сантиметров в длину), никогда не подумает, что перед ним одноклеточное. Больше всего грегарины напоминают червей — и тело у многих длинное, да ещё вдобавок и членистое, и ползать они умеют, извиваясь, и передний отдел вооружен крючочками, которыми грегарина цепляется за стенки кишечника. Тем не менее грегарина — вполне добропорядочная одноклеточная протиста. Крючки и нити, которыми она прикрепляется к стенкам кишечника, образованы внешним уплотненным слоем эктоплазмы. Этот слой — кутикула — одевает и все тело грегарины. Передняя часть тела (язык не поворачивается назвать его клеткой) несет органы прикрепления, называется эпимеритом и отделена перетяжкой от всей остальной грегарины. Несколько назад имеется ещё одна перетяжка, отделяющая второй членик — протомерит. Задний, самый большой членик, называется дейтомеритом и несет нормальное эукариотическое ядро. В студенистой эктоплазме, лежащей под кутикулой, у многих грегарин расположены кольцевые и продольные волокна, за счет сокращения которых грегарина и ползает. Но некоторые из них передвигаются не за счет изгибов тела, а реактивным способом, выделяя слизь на заднем конце тела. Дыхание у грегарин

анаэробное, извлечение энергии ограничивается в основном гликолизом. Процесс этот, как вы помните, малоэффективный, и пищи грегаринам требуется много.

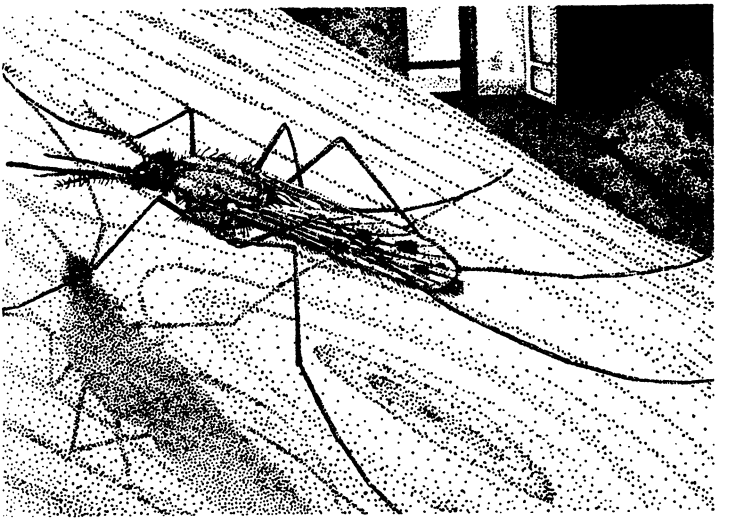
Надо сказать, что грегарины, в общем, самые безвредные из споровиков. Почти все остальные члены этого племени — внутриклеточные паразиты, доставляющие своим хозяевам массу неприятностей. Большинство из них, как и положено профессиональным паразитам, обладает сложными жизненными циклами, со сменой полового и бесполого размножения и со сменой хозяев. Вполне типичным для этой группы циклом обладает малярийный



Цикл малярийного плазмодия:

1 — комар всасывает плазмодии с кровью больного человека; 2 — размножение плазмодиев на наружной стенке кишечника; 3 — клетки плазмодия в слюнных железах комара; 4 — плазмодии попадают в кровь человека; 5 — размножение плазмодиев в клетках печени; 6 — размножение плазмодиев в эритроцитах; 7 — слияние гамет

плазмодий. Вообще-то видов малярийных плазмодиев несколько, и, соответственно, существует несколько форм этой пренеприятнейшей болезни. Одни формы протекают чуть полегче, другие тяжелее, но, в общем, хрен редьки не слаще. В жизненном цикле плазмодия чередуются стадии полового и бесполого размножения, половое размножение протекает исключительно в комаре, а вот бесполое — в человеке. Все неприятности начинаются с того, что в вашу кровь при укусе комара с комариной слюной проникают мелкие червеобразные спорозоиты. Рано или поздно, но с током крови спорозоиты обязательно попадут в печень, где и внедрятся в печеночные клетки. Здесь спорозоит растет, матереет и превращается в шизонта — крупную амёбоподобную клетку. Ядра шизонта делятся, обособляются, и из шизонта разом получается пара десятков одноядерных клеток — мерозоитов. Процесс этот называется шизогонией. Мерозоиты разрушают клетку, точнее, то, что от нее осталось, и выходят наружу. Часть из них снова проникает в клетки печени, а часть — в эритроциты, где питается гемоглобином. Затем снова шизогония и новое поколение мерозоитов выходит на поиски пищи, разрушая клетки, в которых они сформировались. Циклы следуют один за другим, и через некоторое время часть мерозоитов, проникающих в эритроциты, превращается не в шизонтов, а в гамонтов. Это клетки, из которых в дальнейшем образуются гаметы. Образование гамет происходит только



Малярийный комар

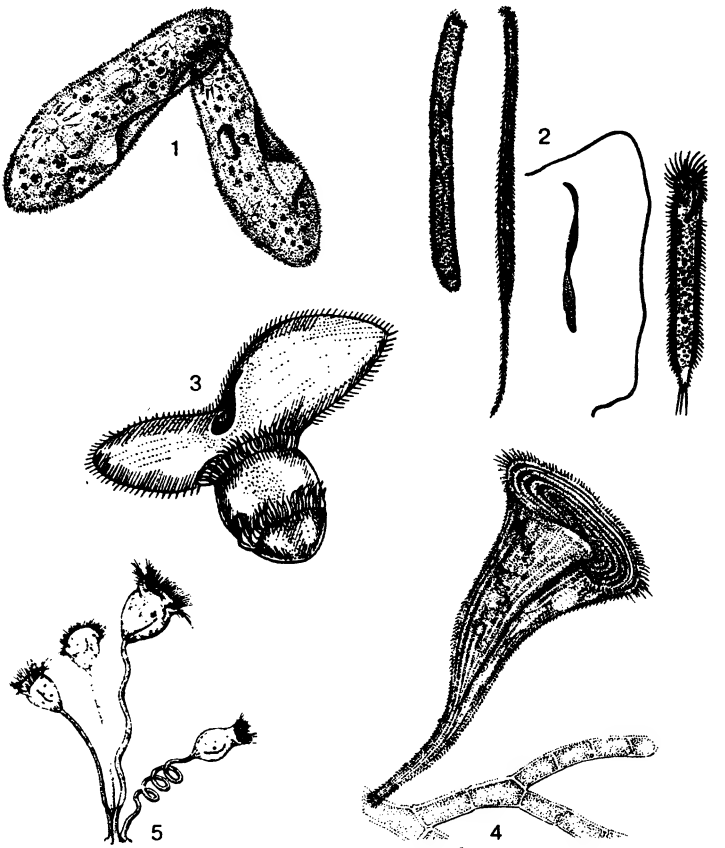
в кишечнике комара, который насосался крови больного малярией. Гаметы сливаются, и образовавшаяся подвижная зигота внедряется в стенку комариного кишечника. Здесь она инцистируется, превращаясь в ооцисту. Каждая ооциста дает несколько тысяч спорозоитов, которые проникают в слюнные железы комара. Здесь спорозоит ждет случая, чтобы проникнуть в кровь человека. Кстати, есть данные, что комару, зараженному малярией, тоже приходится не сладко и продолжительность жизни комаров-маляриков значительно меньше, чем их здоровых собратий. Но утешение это слабое.

Малярия — одна из самых страшных болезней, в тропических районах она до сих пор уносит около миллиона жизней ежегодно. Ещё совсем недавно это число измерялось десятками миллионов — малярия

губила больше людей, чем самые жестокие войны. Вы никогда не задумывались, почему в России ещё сто пятьдесят лет назад неугодных людей правительство ссылало на Кавказ? Ведь курортные же места. Конечно, тогда на Кавказе, как и сейчас, шла война. Но дело было не только в войне. В народных песнях в те времена Кавказ назывался «погибельным». Во многих местах гарнизоны сменялись чуть ли не ежегодно, войска вымирали от малярии.

ВЕРХ СОВЕРШЕНСТВА

Инфузории устроены сложнее всех других одноклеточных организмов. По-видимому, это максимальная сложность организации, доступная клетке. Рассказывать о строении инфузорий, пожалуй, не имеет особого смысла. Во-первых, оно довольно подробно описано в любом школьном учебнике. А во-вторых, несмотря на сложность и изощренность строения, никаких принципиально новых органелл в клетках инфузорий нет и, в общем, это вполне обычные эукариотические клетки. И даже наличие нескольких ядер в клетке инфузории не составляет чего-то особо уникального — по нескольку ядер и часто с различными функциями имеют и некоторые другие протисты, причем в одном отделе, скажем, корненожек или зоомасигофор, могут быть как одноядерные, так и многоядерные виды. А вот обмен генетической информацией у инфузорий довольно необычен, и о нем стоит сказать несколько слов.



Разнообразие инфузорий:

1 — инфузория-туфелька; 2 — инфузории, живущие в песке на морском побережье; 3 — хищная инфузория дидиний, поедающая туфельку; 4 — сидячая инфузория трубач; 5 — сидячие инфузории сувойки

Инфузории имеют два ядра, а некоторые и больше. Одно ядро крупное, называется макронуклеусом, другое поменьше — микронуклеусом. Макронуклеус почти всегда один, микронуклесов может быть несколько. Но, в общем,

базовая конструкция инфузории двуядерная. Микронуклеус содержит диплоидный набор хромосом и особого участия в рутинной жизни инфузориевого организма не принимает. Макронуклеус буквально набит длинными и короткими обрывками хромосом, это своего рода «мешок с генами». Общее количество ДНК в макронуклеусе намного больше, чем в микронуклеусе, но в нем содержатся не все гены, которые есть в микронуклеусе, и эти гены хранятся в беспорядке. Впрочем, беспорядок не мешает макронуклеусу активно участвовать во внутриклеточных делах. Именно гены макронуклеуса определяют процессы синтеза в клетке и, соответственно, структуру этой клетки и её изменения.

Инфузория не просто сложно устроена, она ещё и ведет себя довольно сложно. Когда инфузория-туфелька плывет, согласованно гребя покрывающими её тело ресничками, или брюхоресничная инфузория шустро бегает по дну, перебирая «ножками» — пучками длинных ресничек (они называются цирры), то движения её отнюдь не бесцельны. Расположенные в мембране хеморецепторы позволяют «чуять» врага или добычу на довольно приличном, по меркам одноклеточных, расстоянии. В зависимости от получаемых сигналов инфузория останавливается (реснички перестают грести), поворачивается (реснички с разных сторон тела начинают грести в разном направлении), может двигаться задом наперед (реснички начинают грести в обратную

сторону). Когда добыча настигнута, ряды ресничек, окружающих цитостом, загоняют её в глотку. Все эти сложные действия определяются в значительной степени быстрыми изменениями биохимических процессов. А всякое изменение биохимических процессов — это изменение набора ферментов. А ферменты синтезируются по программам, содержащимся в генах. А гены в данном случае содержатся в макронуклеусе. Так что макронуклеус играет в некотором роде роль «мозга» — органа управления текущими реакциями организма инфузории. И вероятно, чтобы обеспечить быстрое реагирование, он и набит огромным количеством копий наиболее «ходовых» программ. Но вернемся к размножению инфузорий.

При бесполом размножении, когда инфузория делится надвое, микронуклеус делится путем митоза, а вот макронуклеус делится просто пополам. Перед делением фрагменты хромосом могут реплицироваться, но механизма правильного распределения копий по дочерним ядрам нет. Сколько каких фрагментов (и, соответственно, генов) окажется в каждом дочернем ядре — вопрос случая. Поскольку фрагментов хромосом в макронуклеусе огромное количество и гены многократно дублируются, то такое разделение на самочувствии инфузории и её поведении поначалу никак не сказывается. Но рано или поздно, когда позади уже несколько сотен, а то и тысяч делений, обязательно начинает ощущаться некоторый недостаток одних программ и избыток других.

У инфузории есть два выхода из положения. Один из них — конъюгация, соединяющая приятное с полезным. Инфузория одновременно обновляет содержимое макронуклеуса и рекомбинирует программы, хранящиеся в макронуклеусе.

Процесс конъюгации требует участия двух партнеров, причем на роль партнера годится не любая встреченная инфузория своего вида, а особь с определенным типом генома — определённого «пола». Таких «полов» у инфузорий может быть восемь. Две такие инфузории прикрепляются друг к другу обычно той стороной, на которой находится цитостом, то есть «брюхом». Пелликула здесь растворяется, и между конъюгантами образуется цитоплазматический мостик. Одновременно начинает разрушаться макронуклеус, а диплоидный микронуклеус делится путем мейоза, давая четыре гаплоидных ядра. Три из них рассасываются, а одно делится митотически. Теперь в каждом конъюганте по два гаплоидных ядра — пронуклеуса. Один из пронуклеусов каждой особи остается на месте, а другой мигрирует в клетку партнера, где сливается с хозяйским пронуклеусом. Образуется диплоидное ядро, из которого снова образуются макронуклеус и микронуклеус.

Второй способ обновления ядерного аппарата называется автогамией и применяется тогда, когда найти партнера по той или иной причине не удается. При автогамии также происходит распад макронуклеуса и образу-

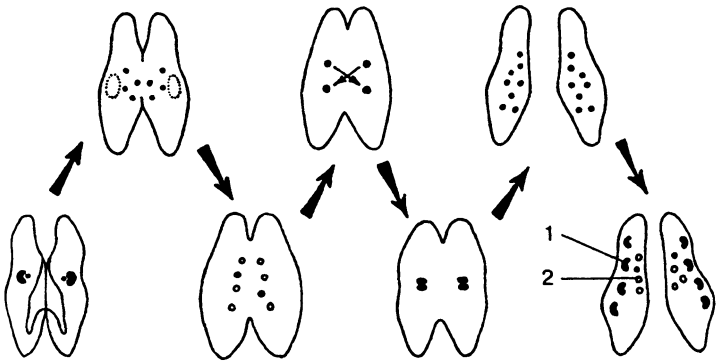
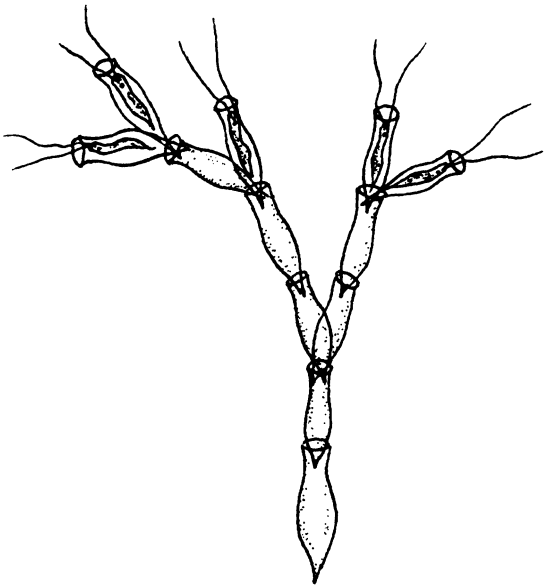


Схема конъюгации инфузории:
1 — макронуклеус; 2 — микронуклеус

ются пронуклеусы, которые сливаются друг с другом, а далее всё идет так, как должно идти после конъюгации.

РЫБЬЯ ПИЩА

Хризофиты — отдел одноклеточных протист, носящих название водорослей. Это преимущественно фотосинтетики, обладающие хлоропластами коричневого или золотистого цвета. Этот цвет им придает особый золотистый пигиент, маскирующий зеленый цвет хлорофилла, которого у хризофитов тоже хватает. Две самые крупные группы хризофитов — это золотистые и диатомовые водоросли. Хлоропласты золотистых водорослей похожи на хлоропласты их многоклеточных товарищей по царству протист — водорослей бурых. Очень может быть, что эти две группы связаны тесным

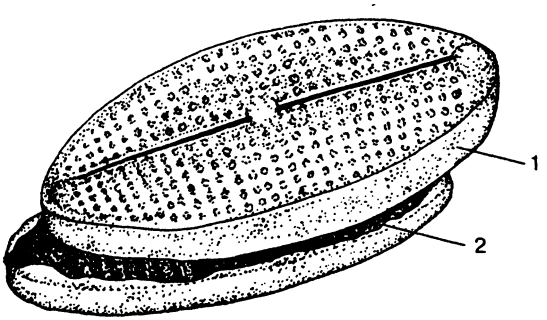


Золотистые водоросли

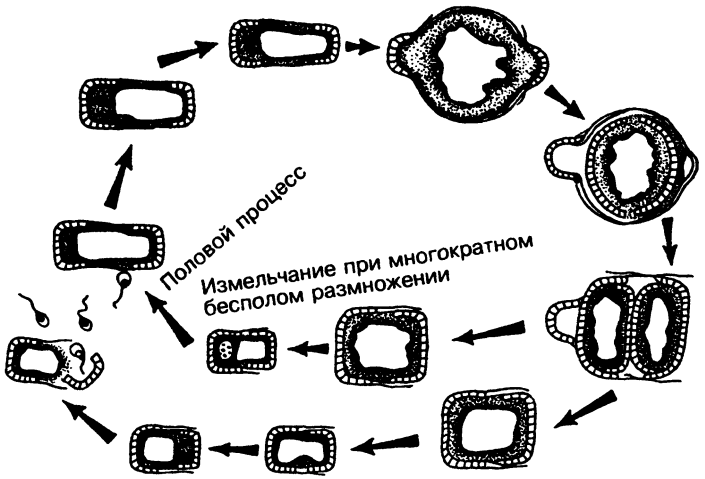
родством. Среди золотистых водорослей есть виды, лишенные жесткой клеточной стенки и напоминающие амеб. Собственно, от последних, на первый взгляд, они отличаются только наличием в цитоплазме хлоропластов. Большинство, однако, обладает жгутиками и до недавнего времени относилось к сбродному отделу мастигофор. Очень многие золотистые водоросли имеют панцирь или скелет из кремнезема. Способность к фотосинтезу отнюдь не всегда гарантирует мирный характер золотистых. Многие активно хищничают, заглатывая бактерий и своих более мелких собратьев. Размножение у большинства видов бесполое, путем деления. Золотистые водоросли много-

численны как в пресных, так и в соленых водах от полярных широт до тропиков. Они составляют существенную часть фитопланктона и, таким образом, входят в число кормильцев многих водных животных.

Диатомовые водоросли в жизни рыб играют ещё большую роль. Эти одноклеточные создания — основная пища мальков очень многих видов рыб, как морских, так и пресноводных. Диатомеи в огромном количестве населяют моря, пруды, озера, болота и просто лужи и канавы. Жгутики у диатомей отсутствуют, но зато почти все они обладают необыкновенно изящным кремниевым панцирем. Панцири состоят из двух створок, входящих одна в другую, конструкция напоминает коробочку. Эти ажурные коробочки бывают четырехугольными, круглыми, овальными, треугольными, в форме звездочек. Отверстия и узелки панциря образуют сложный и тонкий орнамент. Кроме того, панцирь слегка опалесцирует, и при хорошем увеличении панцири диатомей — это



Диатомовая водоросль:
1 — створки панциря; 2 — цитоплазма



Жизненный цикл диатомовых

зрелище, от которого трудно оторваться. Некоторые диатомовые, как и золотистые водоросли, способны к гетеротрофному питанию, а несколько видов вообще лишены хлорофилла и существуют за счет готовой органики. Размножаются диатомовые преимущественно бесполым путем. «Коробочка» делится таким образом, что одна дочерняя клетка получает «крышку», а другая «донышко». Недостающая створка надстраивается всегда таким образом, что она входит в створку родительскую, то есть образует «донышко». Понятно, что с каждым поколением часть диатомей становится всё мельче и мельче. У некоторых панцирь может увеличиваться в ходе роста клетки, но у других он для этого слишком жесток. И когда через несколько десятков бесполых поколений размер диатомеи уменьшается

приблизительно на две трети сравнительно с нормальным, водоросль приступает к размножению половому. Внутри «коробочки» в результате деления образуется или четыре мелкие гаплоидные клетки со жгутиком — спермии, или три клетки рассасываются, и остается одна крупная — яйцеклетка. Яйцеклетка растет, так что перестает помещаться в панцире, и его створки раздвигаются. В образовавшуюся щель и проникает один из спермиев, покинувших родной панцирь. Ядра сливаются, и образовавшаяся диплоидная зигота продолжает расти до тех пор, пока не достигнет максимального для данного вида диатомовых размера. При этом она покрывается тонкой кремниевой оболочкой, и в этом виде принимает имя аукоспоры. Старые маленькие створки сидят на противоположных полюсах аукоспоры как шапочки. Затем внутри аукоспоры образуется две здоровенные створки, зигота делится, и каждый отпрыск получает по створке. Нарастив недостающую, отпрыски превращаются в крупных, представительных диатомей, которым снова предстоит измельчать после ряда бесполых поколений.

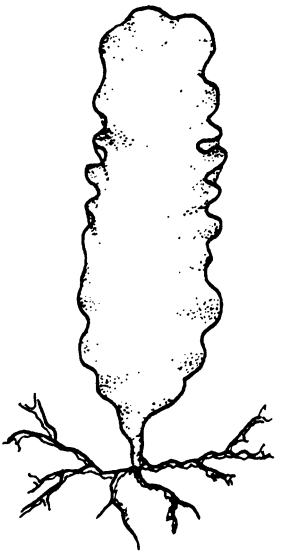
КРАСНЫЕ И БУРЫЕ ВОДОРОСЛИ

Речь в этой главе пойдет о многоклеточных водорослях, красных и бурых, ранее принадлежавших к царству растений. Эти два отдела протист, как недавно выяснилось, вообще

не родственники друг другу (равно как и водорослям зеленым). Они основательно отличаются по строению, по особенностям митоза, по некоторым другим признакам. Каждый из этих отделов имеет своих собственных предков — каких-то гетеротрофных эукариот, вступивших около миллиарда лет назад в симбиоз с фотосинтезирующими бактериями. Причем с разными бактериями. Насколько можно судить по составу хлорофилла и некоторым особенностям фотосинтеза, у красных водорослей предками хлоропластов были, вероятно, какие-то древние цианобактерии, а у водорослей бурых — бактерии, напоминающие некоторых современных пурпурных архебактерий.

Красные водоросли, или багрянки, — весьма крупная группа, предпочитающая тропические моря. Немногие виды, правда, проникают и в высокие широты, и даже в пресные водоемы. Хотя багрянки не могут похвастаться эффектной внешностью и крупными размерами, но в морях число видов этих невзрачных существ больше, чем водорослей двух остальных отделов, вместе взятых. Ветвящееся тело красных водорослей состоит из переплетенных многоклеточных нитей, которые скреплены общей плотной желеобразной массой межклеточного вещества. Жизненный цикл багрянок совершенно необычен и состоит из чередования трех поколений: гаплоидного гаметофита и диплоидных карпоспорофита и тетраспорофита. Внешне разные поколения очень сходны — красные водоросли больше

всего напоминают невзрачные мхи или лишайники. Кроме необычного жизненного цикла, багрянки славятся тем, что это самые глубоководные фотосинтетики на нашей планете. Большинство красных водорослей предпочитает, правда, хорошо освещенное мелководье, как и положено нормальным фотоавтотрофам. Но есть виды, растущие на глубинах около трехсот метров, где освещенность составляет всего половину стотысячной (0,0005%) освещенности на поверхности моря! Как багрянки ухитряются фотосинтезировать при такой освещенности — неизвестно.



Красная водоросль порфира

Бурые водоросли — обитатели морей, причем предпочитают холодные воды. Это в основном довольно крупные создания, а некоторые — очень крупные. Среди бурых водорослей есть виды, достигающие 60–70 метров в длину. Когда речь идет о подводных лесах, о зарослях водорослей, имеются в виду как раз водоросли бурые. К бурым водорослям относится, в частности, ламинария — всем известная морская капуста. Тело бурой водоросли (слоевище) — напоминает лист на черешке. Этот лист может быть цельным или

Бурая водоросль саргассум

рассеченным, а может иметь вид длинной широкой ленты. На конце «черешка» — отростки, напоминающие корни, которыми водоросль крепится к грунту. Цвет может быть действительно бурым, но чаще вполне нормальный, зеленый. Крепятся ко дну не все бурые водоросли, есть среди них плавающие, например знаменитые саргассовые водоросли, образующие в некоторых местах огромные скопления на поверхности моря. Жизненные циклы у бурых водорослей довольно сложны и разнообразны.

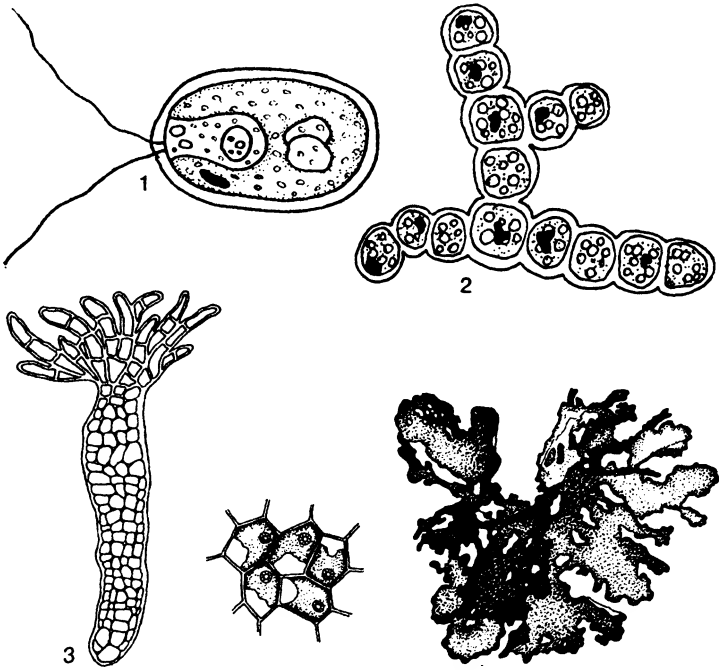
Некоторые бурые водоросли имеют продольные тяжи из особых клеток, по которым питательные вещества из слоевища поступают в «черешок». Это настоящая проводящая ткань, такая же по устройству, как у растений. Вы можете спросить — коль скоро у бурых водорослей формируются ткани, то что они делают в царстве протист? Ну, во-первых, проводящая ткань имеется далеко не у всех бурых водорослей. Во-вторых, даже у тех, у кого она имеется, это единственный тип действительно специализированных сомати-

ческих клеток. И по всей совокупности признаков бурые водоросли вполне вписываются в царство протист.

ПРЕДКИ РАСТЕНИЙ

Зеленые водоросли — самая разнообразная и многочисленная группа водорослей, но, в отличие от своих красных и бурых тезок, это в первую очередь обитатели пресных вод. Впрочем, несколько групп зеленых водорослей обитают в морях, а, кроме того, среди них довольно много созданий сухопутных, которые живут в снегу, в почве, на поверхности камней и на стволах деревьев.

Среди зеленых водорослей есть одноклеточные, есть микроскопические нитчатые формы, есть многоклеточные, достигающие десятка метров в длину. Среди них есть подвижные, передвигающиеся с помощью жгутиков, есть пассивно плавающие в толще воды, есть прикрепленные к субстрату. Зеленые водоросли имеют мало общего с бурыми и красными, кроме, разве что, названия и принадлежности к одному царству. У них были свои собственные предки и свои собственные предки были у их хлоропластов. Зеленые водоросли — древняя группа. Ископаемые остатки, очень похожие на одноклеточные зеленые водоросли, найдены в отложениях с возрастом около одного миллиарда лет. Их красные и бурые тезки появились в морях планеты



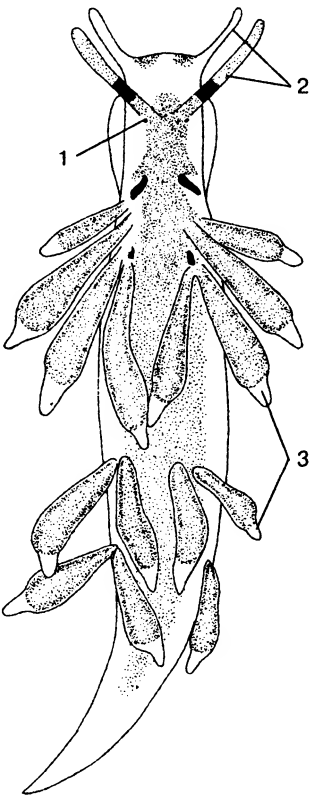
Зелёные водоросли:

1 — одноклеточная хламидомонада; 2 — нитчатая трентеполия (наземная); 3 — многоклеточная ульва

на пару сотен миллионов лет позднее. У зеленых водорослей есть ряд важных особенностей, общих с растениями. Прежде всего, у них одинаковый состав хлорофилла, и, кроме того, они, как и растения, накапливают запасы крахмала внутри пластид. Крахмал в качестве запасного углевода синтезируют также динофлагелляты и красные водоросли, но и они, и другие протисты-фотосинтетики откладывают запасы в цитоплазме. Как и растения, зеленые водоросли обладают жесткой

клеточной стенкой из целлюлозы. Собственно говоря, растения именно от зелёных водорослей и произошли.

Очень многие автотрофные микроорганизмы вступают в симбиоз с гетеротрофами, в том числе с животными. И различные фотосинтезирующие бактерии, и диатомеи из отдела хризофитов (которые при этом теряют створки), и динофлагелляты поселяются в клетках своих хозяев и снабжают их углеводами и кислородом. Одноклеточные зеленые водоросли в этом отношении не исключение, и ничего в этом удивительного нет. Однако у зеленых водорослей известны случаи, когда в критической ситуации хлоропласты решают свою судьбу самостоятельно, без оглядки на судьбу своих хозяев. Например, некоторые голожаберные моллюски питаются водорослями, благополучно переваривают их, а вот хлоропласты каким-то образом оставляют в живых и поселяют в клетках жабер. Здесь эти ренегаты явно чувствуют себя комфортно, они размножаются делением и, когда моллюск держится на свету, вырабатывают столько кислорода, что их новый хозяин не в состоянии его весь использовать.



Голожаберный моллюск:
1 — глаза; 2 — щупальца; 3 — вторичные жабры

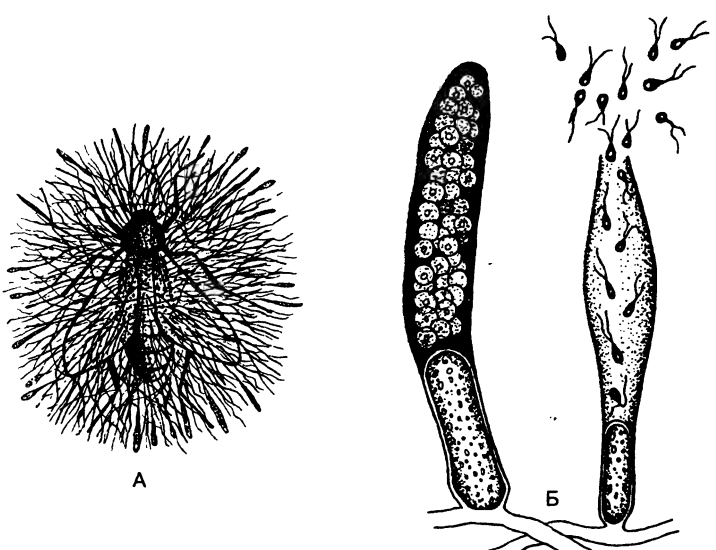
ДВОЙНИКИ ГРИБОВ

Два отдела протист — оомицеты и хитридиомицеты — до противного похожи на грибы, они очень долго считались полноправными подданными грибного царства, и выдворить оттуда эту публику удалось только после углубленного исследования её подноготной. Как и у полноправных грибов, тело этих многоклеточных протист представляет собой мицелий — пучок ветвящихся нитей, гиф. Правда, когда речь идет о грибах или грибоподобных протистах, язык на слове «многоклеточность», право, спотыкается. Дело в том, что гифы — это часто просто «трубочки», наполненные цитоплазмой и содержащие множество ядер, не разделенные никакими перегородками. Такие гифы называются ценоцитными. И даже тогда, когда перегородки есть, то есть гифа поделена на «отсеки», в этих перегородках (септах) имеются отверстия, и цитоплазма свободно гуляет туда и сюда по всему мицелию.

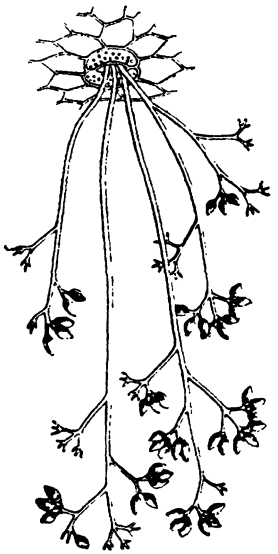
Но вернемся к двойникам грибов. Если они так на грибы похожи, то чего ради их попросили из грибного царства? Прежде всего потому, что хромосомы этих созданий устроены как хромосомы большинства нормальных эукариот и совсем не похожи на весьма специфические хромосомы грибов. Митоз и мейоз у них тоже вполне стандартен, тогда как настоящие грибы и в этом отношении проявляют некоторую экстравагантность. Кроме того, клеточные стенки оомицетов укреплены

целлюлозой, тогда как у грибов для этих целей используется хитин. Хитридиомицеты, впрочем, и здесь подделываются под грибы, но особенности хромосомного аппарата и деления выдают их с головой.

Большинство оомицетов — нормальные сапротрофы, то есть они питаются мертвой органикой. Но есть среди них и довольно зловредные создания. В частности, некоторые виды сапролегний хорошо известны аквариумистам, поскольку норовят расти на коже рыб. Поражают они и икру, и кожу амфибий. Один из самых известных оомицетов — фитофтора. Все фитофторы, а их на свете около четырех десятков видов, — злостные паразиты растений.



Сапролегния:
А — общий вид гриба на трупе мухи; Б — рассеивание спор



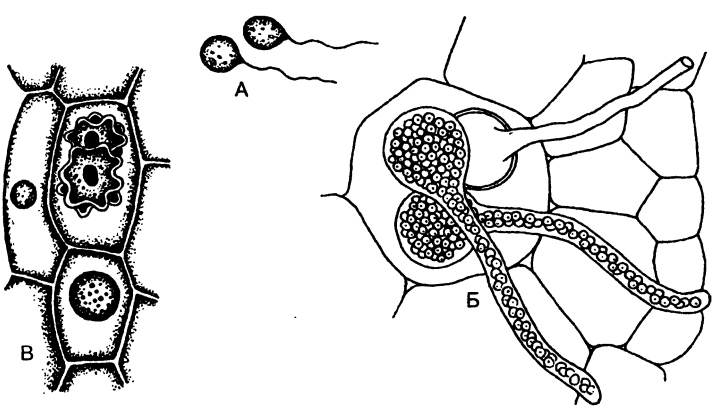
Фитофтора — гифы со спорангиями, высовывающиеся из устьиц листа картофеля

Они поражают какао и ананасы, эвкалипты и яблони, табак, лук, землянику и десятки других растений. Наибольшей славой пользуется фитофтора инфестанс, любительница растений из семейства пасленовых, особенно картофеля. С ней в России ныне знакомы практически все: и те, кто сажает картошку, и те, кто покупает её, любимую, выращенную на родных просторах. Поголовная безграмотность наших сельских хозяев и сельских начальников привела к тому, что за последние три десятка лет фитофтора заразила практически все картофельные поля России. Но это ещё семечки. Свое появление на сельскохозяйственной сцене сто пятьдесят лет назад фитофтора ознаменовала разгромом целой страны — Ирландии. Летом 1846 года все посадки картофеля в Ирландии погибли в течение нескольких недель. Картофель в этой стране в те времена был главной пищей сельского населения (да и сейчас это самая «картофельная» страна мира, по потреблению картошки с ней можем соперничать только мы). Наступил голод, около миллиона человек погибло, около двух миллионов были

вынуждены эмигрировать в Америку. Население страны сократилось почти вдвое.

В конце девятнадцатого столетия во Францию из Америки случайно был завезен оомицет плазмопара, поражающий виноград. Виноградарство Франции оказалось, без всяких преувеличений, на грани гибели. Положение спасла человеческая жадность. Крестьяне окрестностей Бордо искони опрыскивали виноградники, растущие вдоль дорог, купоросом. Чтобы прохожие не рвали гроздья. Один из биологов Бордоского университета, занимавшийся проблемой спасения виноградников, заметил, что опрысканные купоросом лозы болеют меньше. Он разработал смесь, содержащую купорос, которая полностью предохраняла виноград от плазмопары. Смесь получила название бордоской жидкости и успешно применяется до сих пор.

Хитридиомицеты, в общем, чисто внешне имеют с оомицетами много общего. Однако родство между этими двумя отделами протист



Хитридиомицет:

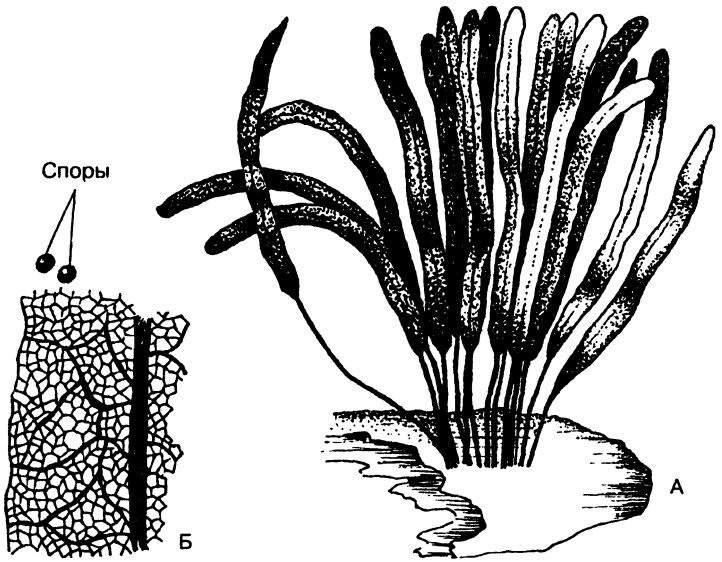
А — зооспоры; Б — покоящиеся спорангии; В — спорангии в тканях капусты

не ближе, чем каждого из них с настоящими грибами или, скажем, с бурыми водорослями. Среди хитридиомицетов также есть и свободные сапротрофы, есть и паразиты.

СУПЕРАМЕБЫ

Миксомицеты — странные существа, к которым, строго говоря, неприменимы понятия «одноклеточные» или «многоклеточные». Это текучая масса протоплазмы, одетая лишь плазматической мембраной и тонкой слизистой оболочкой. В протоплазме содержится множество диплоидных ядер, ничем друг от друга не отделенных. Называется эта штука плазмодием. Плазмодий движется, подобно большой амебе, попутно захватывая и переваривая бактерий, одноклеточных протист, частички разлагающейся органики. Ядра делятся путем митоза, плазмодий растет и может достигать массы хорошо откормленной мыши — порядка 30 граммов. Поскольку вся эта масса растекается по поверхности тонкой пленкой, то плазмодий может занимать около квадратного метра поверхности. И при необходимости это внушительное существо, не теряя единства, способно просочиться через тонкую ткань или промокашку. Плодовые тела миксомицетов, кстати, тоже совсем не микроскопические образования. Эти плотные пузырьки, слегка напоминающие грибы дождевики, вы наверняка встречали не раз.

Рост плазмодия продолжается, пока хватает пищи. Когда все съедено, он пускается в дальний путь, и тогда его можно встретить в довольно неожиданных местах. Иной раз плазмодии даже взбираются по стволам деревьев. В передвигающемся плазмодии образуются расходящиеся веером трубочки из уплотненной протоплазмы, напоминающие жилки листа. Когда с едой совсем плохо, плазмодий останавливается и распадается на множество обрывков. Каждый обрывок «собирается в кучку», из «кучки» вырастает стебелек, а на вершине стебелька образуется спорангий. Все вместе, как мы уже упомянули, очень напоминает плодовые тела некоторых грибов. В спорангии ядра приобретают клеточные стенки и образуют споры, которые способны сохранять жизнеспособность несколько десятков лет. В подходящих условиях из спор выходит маленькая гаплоидная амебка или клетка с одним-двумя жгутиками. Это вполне самостоятельные организмы, которые не просто бегают в поисках пары, высунув язык, как положено гаметам, а ведут трудовую жизнь — питаются. Две такие клетки, встретившись, сливаются (плазмогамия). Потом сливаются их ядра (кариогамия), и амебка становится диплоидной. Амебка продолжает питаться, ядра начинают митотически делиться, плазмодий растет, матереет, пока снова не наступит голодное время. У некоторых видов миксомицетов ядра могут начать делиться и в гаплоидной амебке-гамете, тогда из нее вырастает



Миксомицет стемонитис:
А — внешний вид спороношения; Б — фрагмент при сильном увеличении

гаплоидный плазмодий, ничем по виду и поведению не отличающийся от диплоидного.

Миксомицеты — обычные обитатели наших лесов, особенно широколиственных. Их излюбленные места — скопления влажных опавших листьев, гниющие стволы деревьев. Вообще же эти создания любят тепло и влагу, поэтому их больше всего в тропических лесах, а в степях и пустынях их нет вовсе. Даже полян они обычно избегают. Но в период миграций могут забрести в самые неподходящие места.

ГРИБЫ
И РАСТЕНИЯ

Родственники не обнаружены
Что такое гриб
Невидимая сила
Друзья и враги
Лишайники
Растения
Без чего не обойтись на суше
Вид растения изнутри
Вид растения снаружи
Вечная жажда
Сосудистые и не очень
Размножение мхов
Самые древние
Плауны, хвощи и папоротники
Как появилось семя
Сложная процедура
Следующий шаг
Верх совершенства
Неразрывная связь

РОДСТВЕННИКИ НЕ ОБНАРУЖЕНЫ

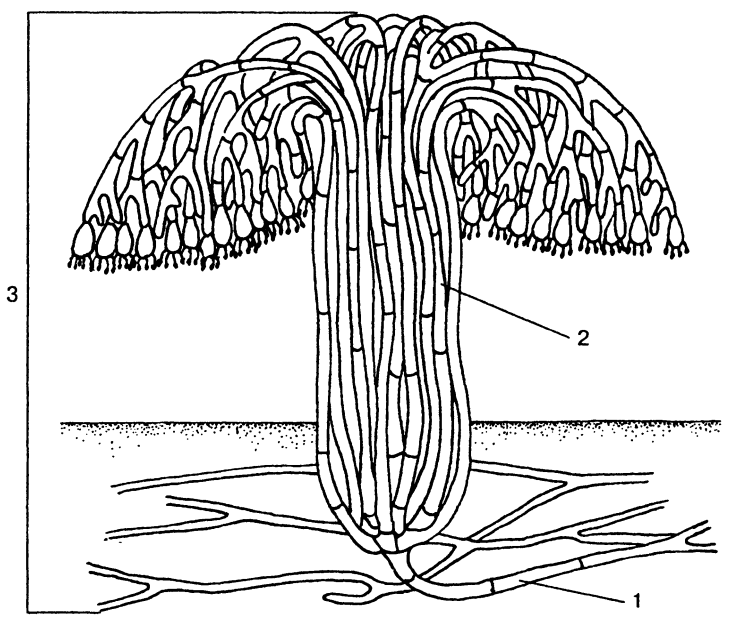
Первые грибы, появившиеся некогда на планете, были, вероятно, одноклеточными организмами, а их предками были какие-то одноклеточные эукариоты, то есть протисты. Других предков у них просто не может быть. Однако ни одна из известных групп протист претендовать на роль предков грибов не может. У грибов масса цитологических и генетических особенностей, которые никак не выводятся из существующих ныне протист, растений или животных.

Ископаемые остатки, весьма напоминающие грибы, имеют возраст около одного миллиарда лет. Очень может быть, что грибы вообще были первыми на Земле многоклеточными эукариотными организмами. Но история возникновения грибов и их первые шаги по пути эволюции покрыты непроницаемым мраком. Совершенно несомненные грибы известны из пород вендского возраста, то есть около шестисот миллионов лет назад грибы уже вполне были грибами.

Грибы очень сильно отличаются от двух других «высших» царств эукариот — растений и животных. Ими занимается особая наука — микология. Микология не пользуется такой широкой известностью, как бактериология, зоология или ботаника, хотя грибы — очень странная, во многом таинственная и необыкновенно важная группа живых существ.

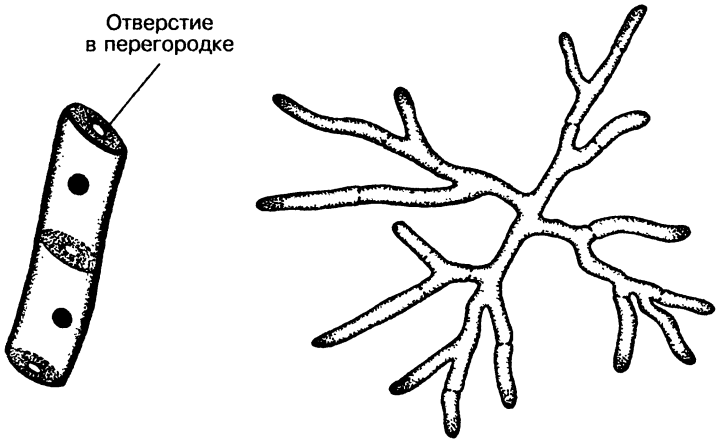
ЧТО ТАКОЕ ГРИБ

Когда говорят слово «гриб», наше воображение рисует нам боровик, сыроежку или мухомор — короче, шляпку на ножке. На самом деле шляпка, с ножкой или без, это плодовое тело некоторых грибов, нечто вроде яблока на яблоне. Шляпка и ножка состоят из спрессованных перепутанных нитей — гиф. Эти гифы — тонкие ветвящиеся нити, пронизывающие почву, и есть тело гриба, мицелий. Так что более всего гриб похож на комок паутины. Гифы— это, по сути, цепочки клеток, но перего-



Строение тела гриба:

1 — гифы мицелия; 2 — гифы плодового тела; 3 — организм гриба в целом



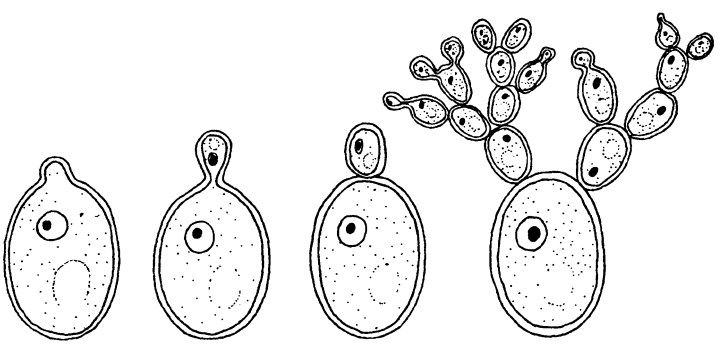
Гифы гриба

родки между клетками могут отсутствовать, а если они есть, то обязательно «дырявые».

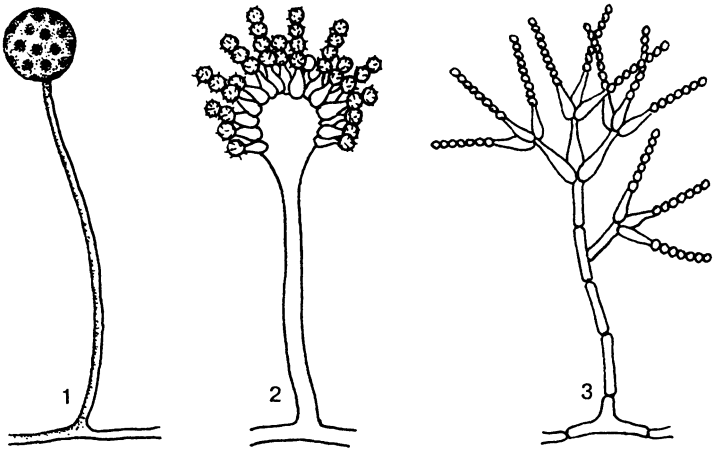
Оболочка гиф состоит в основном из сложной смеси углеводов, как и клеточная оболочка растений, водорослей и многих бактерий. Каркасом, арматурой оболочки служит переплетение полисахаридных нитей, но этот полисахарид не целлюлоза, как у растений, а хитин — гораздо более устойчивое соединение, широко используемое в царстве животных (из хитина состоит панцирь членистоногих). Кстати, и запасной углевод у грибов не крахмал, как у растений, а гликоген, как у животных. Но вернемся к гифам. Растут гифы кончиками, за сутки мицелий одной особи может удлиниться в сумме на километр. Гифы могут не только ветвиться, но и сливаться, причем проделывать это могут и гифы, принадлежащие разным особям, проросшим из разных спор.

Есть среди грибов и одноклеточные формы, носящие название дрожжей. Дрожжи произошли в свое время от нормальных, многоклеточных грибов. Переход к одноклеточности совершался не раз в разных ветвях грибного царства, так что дрожжи — группа сборная.

Размножаться грибы могут тремя способами. Способ номер один — чисто вегетативное размножение. Кусок гифы, в силу случая оторванный от основной массы мицелия, будет благополучно расти сам по себе. Перенос с комочками земли обрывков гиф с одного места на другое — в природе дело обычное. Второй способ — бесполое размножение спорами. Споры грибов, как и эндоспоры бактерий, это одетая оболочкой «спящая» копия родителя. Часто споры, как и мицелий, многоядерны. Прорастая, спора дает начало новому мицелию. И наконец, размножение половое, когда образованию спор предшествует слияние двух особей и перемешивание признаков родителей. О половом размножении мы поговорим позже



Почкующиеся дрожжи

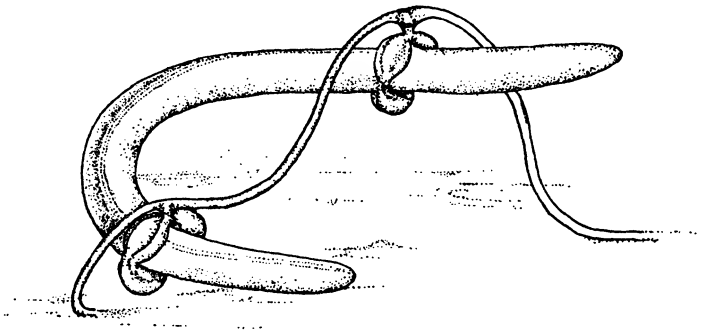


Спорангии грибов:

1 — спорангии мукора; 2 — конидии (спорангии при бесполом размножении) аспергилла; 3 — конидии пенициллa

поподробней, так как форма полового процесса — это одна из особенностей грибов, отличающая их от всех других живых существ.

Нитевидное тело делает грибы необычайно активными созданиями. Каждый участок мицелия непосредственно контактирует со средой всей своей поверхностью, выделяет в нее отходы собственного метаболизма и всасывает питательные растворы. Все грибы гетеротрофы, они или питаются мертвой органикой, или паразитируют на других организмах, или вступают с ними во взаимовыгодный союз — симбиоз. При этом «пищеварение» у грибов внешнее, как у большинства прокариот. Гриб не захватывает пищевые частицы, как большинство гетеротрофных протист, а выделяет в окружающую среду ферменты и всасывает «переваренную»



Нематода, пойманная гифами хищного гриба

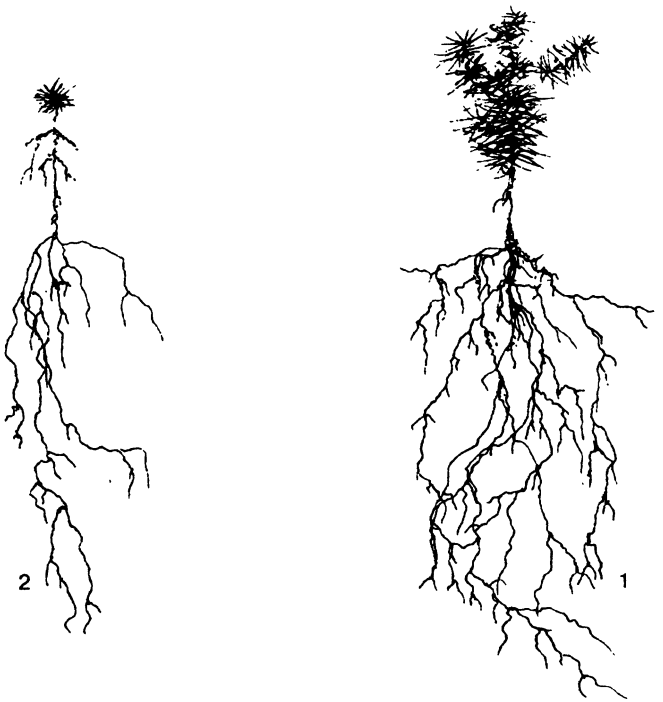
вне его тела органику. Есть, кстати, среди грибов и настоящие хищники. Гифы некоторых видов выделяют вещества, которые парализуют мелких нематод — круглых червей, очень многочисленных в почве и гниющей органике. Гифы гриба опутывают обездвиженную жертву, проникают в нее и «высасывают». Такой охотой занимаются даже некоторые вполне добропорядочные грибы, которых на первый взгляд трудно заподозрить в хищнических наклонностях. Например, проделывает такие штуки вешенка, пластинчатый гриб, растущий на гниющей древесине, вкусный и весьма популярный во многих местах. У некоторых грибов на поверхности гиф выделяется клейкое вещество, к которому прилипает всякая мелкая живность, каковая поедается так же, как нематоды вешенкой. А некоторые грибы пошли ещё дальше. Когда жертва (чаще всего та же нематода) проползает через особые петли гиф, эти петли мгновенно вздуваются, схватывая добычу, как капкан.

Впрочем, большинство грибов — совершенно мирные создания. Однако их роль в природе не меньше, чем роль гетеротрофных бактерий — грибы разлагают мертвое органическое вещество. Во многих местах именно грибы выполняют львиную долю этой важнейшей работы. Кроме того, грибы давно, ещё на заре своей истории, вступили в тесный союз с растениями, и до сих пор содружество двух царств остается нерушимым. В некоторых ландшафтах грибы — основа существования всех других организмов. Когда вы гуляете в лесу, вам кажется, что главная сила здесь — деревья. Они регулируют влажность и температуру под пологом леса, удобряют своим опадом почву, синтезируют органические вещества и кормят массу насекомых, птиц, мышей и лосей, которые, в свою очередь, кормят хищников и нас с вами. Но на самом деле деревья могут делать все это только благодаря густо пронизывающим почву гифам разнообразных грибов. Грибы не бросаются в глаза, а иногда без специального исследования вы вообще не обнаружите их присутствия, но лес существует только до тех пор, пока эти незаметные создания поддерживают союз с деревьями и травами. И дело не только в разложении органики, хотя без этого лес тоже не смог бы существовать.

Некоторое грибы играют ключевую роль в минеральном питании растений. Микориза — срастание гиф с корнями — характерна для

большинства групп сосудистых растений, грибы с младенчества сопровождают большинство папоротников, хвощей, хвойных и цветковых. Микоризой пользуются очень и очень многие, начиная от невзрачных трав тундры и кончая гигантскими деревьями тропических лесов. Вообще, о микоризе слышал любой школьник, если он не прогулял соответствующий урок, но относятся к ней как к некому курьезу, вроде содружества рака-отшельника с актинией. Масштаб и последствия этого явления большинство людей представляют себе плохо. Мало кто знает, что чуть ли не девяносто процентов всех растений леса, почти любого леса, неважно, в Костромской области или в бассейне Амазонки, существует только благодаря микоризным грибам.

Попробуйте вырастить семя дуба, сосны, ели или березы где-нибудь в степи или хотя бы на собственном огороде. В большинстве случаев проросток начнет чахнуть и, в конце концов, погибнет от голода, хотя питательных веществ в степной или огородной почве намного больше, чем в почве родного леса. Но если добавить в ямку, куда вы опустили семя, чуть-чуть, всего щепотку, лесной земли, младенец будет расти нормально. Дело в том, что в лесной почве всегда содержатся гифы (или хотя бы споры) микоризных грибов, которые берут на себя прокормление проростка. Особенно важна микориза для обеспечения растений фосфором. Взамен растение снабжает гриб углеводами, а иногда и некоторыми другими продуктами собст-



Проростки сосны,
развивавшиеся в присутствии грибов (1)
и без них (2)

венного изготовления. Мало того — как совсем недавно стало известно переплетение мицелия микоризных грибов переносит некоторые соединения от одного растения к другому. Возникает возможность обмена различными продуктами между растениями разных возрастов и даже разных пород. То есть переплетение гиф — это в прямом смысле сеть, связывающая воедино лесное сообщество.

Микориза бывает двух основных типов: эндомикориза и эктомикориза. Эндомикориза —

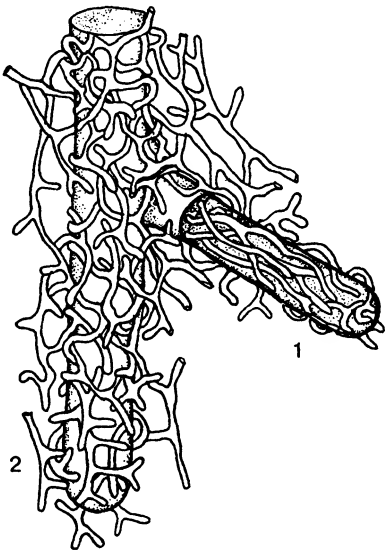
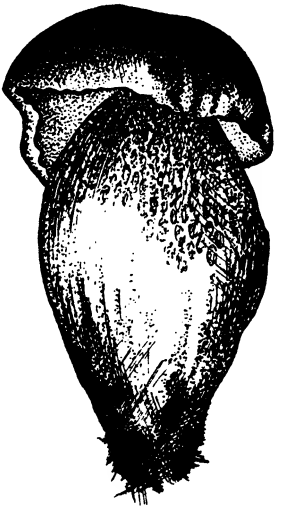


Схема организации эндо- (1) и эктомикоризы (2)

это когда гифы грибов проникают внутрь клеток корня. Такая микориза образуется на корнях у восьмидесяти процентов всех сосудистых растений. Интересно, что в эндомикоризных отношениях участвует всего около сотни видов грибов, то есть один вид может вступать в союз с тысячами разных видов растений. Эндомикориза — штука очень и очень древняя. Исследование ископаемых остатков первых растений, живших в силурийском периоде более четырехсот миллионов лет назад, показало, что в те времена эндомикориза встречалась ничуть не реже, чем сейчас. Очень может быть, что именно возникновение микоризы было тем решающим фактором, который позволил растениям широко расселиться по суше.

При эктомикоризе гифы гриба оплетают корни и проникают в ткань растения между клетками, а не внутрь их. Корневые волоски в случае эктомикоризы часто отсутствуют, их функцию выполняют гифы. Такая микориза встречается реже, преимущественно у древесных растений, и гриб чаще всего вступает в связь только с несколькими родственными видами растений. К эктомикоризным относится большинство съедобных грибов — белые, рыжики, подосиновики, грузди, волнушки. Всего известно более пяти тысяч видов эктомикоризных грибов.



Белый гриб

ДРУЗЬЯ И ВРАГИ

Среди грибов масса очень для нас с вами полезных созданий. Ну, начнем с того, что среди них много съедобных. Ничуть не меньше таких, которые не употребляются в пищу непосредственно, но используются для её приготовления. Дрожжами, благодаря которым мы едим хлеб, пьем вино и кефир, дело не ограничивается. Для населения многих районов Дальнего Востока один из основных продуктов —

соя. Из нее изготовляют массу блюд, от всем известного соевого соуса, до «соевого теста» и «соевого творога». Многие из этих блюд (в частности, соус) получаются из продукта, поросшего плесенью — грибами рода аспергилл, мукор и ризопус. Сыры рокфор и камамбер получаются при поселении на сыре определенных плесеней из рода пенициллиум. Но область гастрономии — отнюдь не главная область, в которой человек использует грибы.

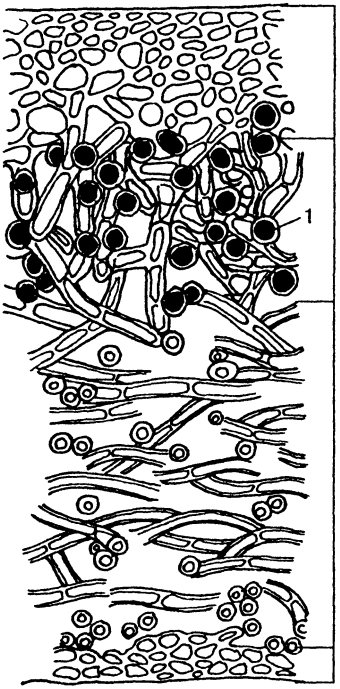
Поскольку грибы питаются, в общем, тем же, чем сапротрофные бактерии, то отношения между ними весьма напряженные. И многие грибы синтезируют особые вещества, которые подавляют рост бактерий, — антибиотики. Первый антибиотик, ставший известным человечеству, — пенициллин — был выделен из плесени британским врачом Александером Флеммингом. Значительная часть антибиотиков, используемых медиками в наше время, тоже производится грибами. При пересадке органов врачи используют препарат циклоспорин, который подавляет иммунитет, не разрушая при этом клеток костного мозга. Циклоспорин был выделен впервые из грибов.

Однако следует признать, что убытки, которые нам наносят грибы, впечатляют не меньше, чем их полезные качества. Любую мертвую органику гриб рассматривает как пищу. А мертвая органика — это не только опавшая листва, поваленное дерево или дохлый воробей. С таким же аппетитом грибы набрасываются на деревянные дома, одежду, кожаные

ботинки или кусок колбасы. Мало того, что они уничтожают наши строения и наши запасы, так они ещё и травят нас, причем весьма основательно. Речь не идет о мухоморах или бледных поганках, тут гриб не виноват, что вы его вздумали съесть. Но когда плесневые грибы борются с бактериями за место под солнцем в кастрюле с супом, они выделяют не только антибиотики, которые тоже для здорового человека вовсе не полезны. Многие продукты обмена плесневых грибов — мощнейшие канцерогены, а многие просто очень ядовиты. Кроме того, среди грибов много паразитов, которые с удовольствием селятся на человеке, вызывая разнообразные кожные болезни. Стригущий лишай, молочница и известный многим «грибок», поселяющийся на ногах, — лишь немногие из грибковых заболеваний. Особенно распространены такие грибы в тропиках. Во время войны во Вьетнаме из-за кожных заболеваний попало в госпитали больше солдат, чем из-за огнестрельных ранений.

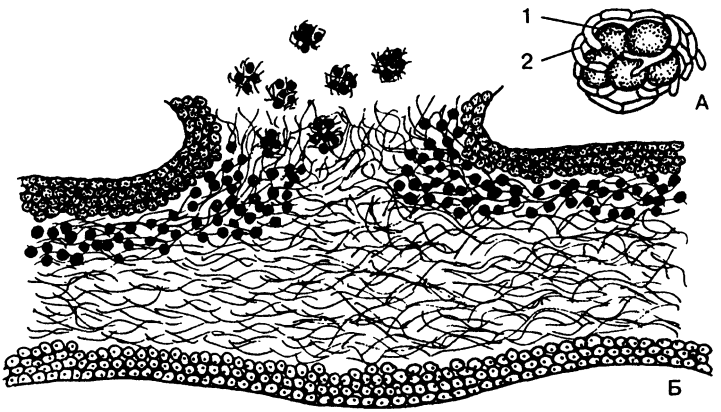
ЛИШАЙНИКИ

Грибы проявляют прямо-таки страсть к сожительству с представителями других царств. Кроме микоризы, о которой мы уже говорили, есть ещё один плод этой страсти — лишайники. Лишайник — это плотное переплетение гиф аскомицета, в котором заключены клетки цианобактерий или одноклеточных зеленых



Строение лишайников:
1 — водоросли; 2 — коровый слой; 3 — слой водорослей; 4 — сердцевина

водорослей. Кончики гиф проникают в клетки сожителя, который обеспечивает их продуктами фотосинтеза. Что касается водоросли, то она, похоже, ничего полезного для себя из гриба не извлекает. Обычно лишайники приводятся как пример симбиоза — взаимовыгодного союза двух организмов. На самом деле, это скорее не симбиоз, а паразитирование гриба на водоросли. Водоросли, входящие в состав лишайников, встречаются в природе и сами по себе, причем растут и размножаются на свободе они гораздо лучше. А вот те виды грибов, которые образуют лишайники (а таких видов около тридцати тысяч, столько же, сколько и свободных аскомицетов), сами по себе расти не могут и в «чистом виде» не встречаются. Некоторые лишайники размножаются так называемыми соредиями — это маленькие комочки гиф, опутывающие клетку водоросли, которые отпочковываются от тела лишайника.



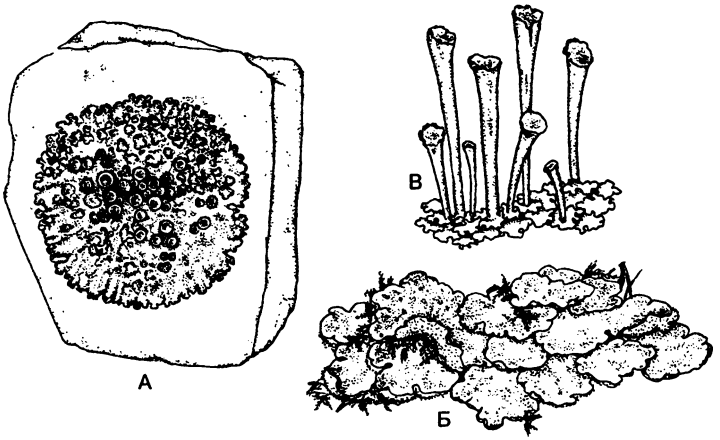
Соредии:

А — при сильном увеличении (1 — водоросли; 2 — гриб); Б — выход соредиев через разрыв стенки лишайника

Но чаще гриб размножается привычным для себя способом. Формируются аскоспоры или конидии, и проросший молоденький мицелий опутывает гифами встреченную клетку водоросли. А если подходящей водоросли не подвернулось — гибнет.

Некоторые виды «лишайниковых» аскомицетов способны расти только с одним видом водоросли, другие не столь разборчивы. Недавно выяснилось, что форма лишайника зависит от того, с какой водорослью гриб вступил в сожительство. Растут лишайники везде: от раскаленных пустынь до скал, выступающих из-под ледникового щита в центре Антарктиды. Есть даже лишайник, растущий в морской воде. Какие-то минеральные вещества из субстрата лишайники, вероятно, получают. Но большую часть того, что им необходимо

для жизни, они берут из воздуха и дождевой воды. Живучесть лишайников объясняется, как ни странно, их способностью стремительно терять воду. Высыхает лишайник за пару часов. При этом верхняя корка становится плотной и непрозрачной, фотосинтез прекращается, лишайник впадает в своего рода анабиоз, и в таком состоянии некоторые лишайники способны находиться годами, выдерживая температуры от плюс 80° (до такой температуры раскаляется поверхность скал в пустыне) до минус 80° (зимние температуры в центральных районах Антарктиды). Но стоит появиться росе или пролиться дождичку, лишайник оживает буквально за две-три минуты. А как только влажность начинает падать — снова впадает в спячку. Лишайник ориентируется на наличие воды, и при жизни в Антарктиде или в центре Австралии в этом есть глубокий смысл. Появление воды — это, одновременно, означает снижение (в пустыне) или повышение температуры. В иных пустынях дожди (или роса) случаются раз в несколько лет, причем через несколько дней все высыхает до исходного состояния. «Жаркие» дни в центре Антарктиды или в высокогорье, когда солнце нагревает поверхность скалы до такой степени, что она «отпотевает» — тоже очень большая редкость, и длится эта благодать недолго. Даже и не в столь запредельных условиях, скажем, на скалах Таймыра или Ставрополья, лишайник большую часть жизни проводит в спячке. Поскольку растут ли-

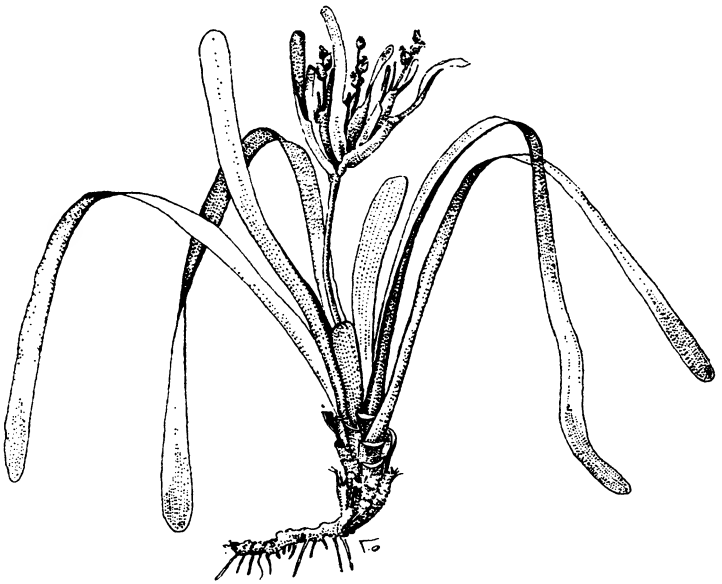


Жизненные формы лишайников:
А — накипной; Б — листоватый; В — кустистый

шайники «урывками», то обычно рост идет очень медленно. Известны лишайники, которым, по приблизительным расчетам, должно быть более пяти тысяч лет.

РАСТЕНИЯ

Их ещё недавно, когда к царству растений относились и водоросли, называли высшими растениями. Ныне водоросли ушли в царство протист, и теперь титул «высшие» потерял смысл. Других в растительном царстве просто нет. Растения в целом — сухопутные существа. Обратно в воду вернулись немногие. То, что мы называем водными растениями, это в большинстве своем вполне сухопутные создания, просто стоящие «по колено», «по пояс»



Посидония — водное цветковое растение

или «по горло» в воде. Некоторые водные растения, их гораздо меньше, не стоят, а плавают, что дела не меняет. Но практически все они черпают углекислый газ и кислород из воздуха, а прочие минеральные вещества — из грунта, со дна водоема, а не из воды, в отличие от водорослей. И даже те очень немногие, которые полностью погружены под воду, вроде элодеи, органы размножения обычно выносят на поверхность. Среди «высших» растений по-настоящему водных на свете — раз-два и обчелся. Собственно, все главные признаки и свойства растений — это приспособления, приобретенные их предками водорослями при выходе на сушу.

Море — колыбель жизни. Жизнь вышла на сушу из воды. Большинство из нас усвоило это ещё в школе. Вообще говоря, первый тезис сейчас считается сомнительным, очень вероятно, что первые формы жизни возникли не в море, а на суше, в почвенных растворах, и только потом жизнь проникла в море. Соответственно, на сушу из воды вышла не жизнь вообще, а жизнь многоклеточная. Так или иначе, но эти два утверждения переплетаются в сознании многих людей таким образом, что порождают третье, уже совершенно неверное — жизнь вышла на сушу из моря. На самом деле, практически все сухопутные группы многоклеточных организмов вышли на берег не из моря, а из пресной лужи. Многоклеточные формы жизни возникли действительно в море; затем были освоены пресные воды, и только потом, с этого плацдарма, началось завоевание суши. Растения не исключение — их предками были пресноводные зеленые водоросли, по-видимому, очень похожие на современные харовые водоросли. Обитали эти предки, вероятно, не в озерах и реках, а именно в мелководных лужах. Лужам свойственно периодически высыхать, и это служит очень мощным стимулом к выработке приспособлений для сухопутной жизни.

Завоевание суши зелеными водорослями началось очень давно, около полумиллиарда лет назад, в начале ордовикского периода. Уже из середины ордовика известны споры, очень напоминающие споры растений. А совершенно

несомненные остатки растений появляются в силуре, в отложениях, имеющих возраст около 430 миллионов лет. В девонском периоде, около 400 миллионов лет назад, когда сушу начали осваивать наши предки амфибии, растения были уже многочисленны и разнообразны. Очень вероятно, что за покорение безжизненных берегов водоросли взялись не в одиночку, а в союзе с грибами. Тесный союз гриба и корня — микориза — ныне известен для огромного большинства (более 80%) «высших» растений. Гриб снабжает растение минеральными веществами, а растение расплачивается за это углеводами. Похоже, что этот союз возник на заре времен и был одним из условий успеха завоевания суши.

БЕЗ ЧЕГО НЕ ОБОЙТИСЬ НА СУШЕ

Жизнь водоросли, надо сказать, довольно проста, избыток проблем водоросль не обременяет. Особые органы питания не нужны, питательная среда — вода с растворенными в ней разнообразными веществами — окружает водоросль со всех сторон, и она «впитывает» необходимое, так сказать, всем телом. Вода её, кроме того, и поддерживает. В подводной «невесомости» водоросли не нужны жесткие структуры, поддерживающие тело. Хотя у некоторых, в основном крупных, водорослей и в воде возникают трудности. У многометровой ламинарии, например, верхняя часть освеще-

на лучше, чем прикрепленная ко дну, и появляется необходимость транспортировки продуктов фотосинтеза из одной части слоевища в другую. При жизни на суше все эти проблемы встают в полный рост.

Из весьма приличного набора веществ, потребных живому организму, в воздухе в доступной для растения форме содержатся только углерод (в составе углекислого газа) и кислород. Правда, весь комплект нужных веществ есть в почвенных растворах, но в почве нет света, и, следовательно, с фотосинтезом там делать нечего. Многоклеточному фотоавтотрофу на суше необходимо часть тела погрузить под землю, к источнику минерального питания, а часть оставить на поверхности, под лучами солнца. Значит, хочешь не хочешь, нужно наладить транспортировку минеральных веществ из подземной части наверх и продуктов фотосинтеза вниз.

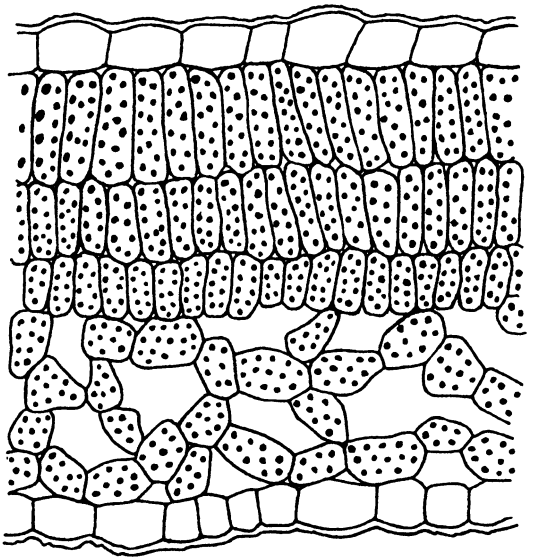
Проблема номер два — жесткость тела. Под водой, какой бы ни свирепствовал на поверхности шторм, он ощущается лишь как мягкие движения воды. На суше ветра и ливни быстро растреплют мягкое слоевище многоклеточного в лохмотья. Вдобавок свое тело фотосинтетику вообще лучше поддерживать в более или менее вертикальном положении, так можно расположить фотосинтезирующие части в несколько ярусов и более эффективно использовать солнечный свет. Требуются особые структуры, придающие телу жесткость. Ну и, наконец, на суше необходимы особые

покровы, предохраняющие тело от высыхания. Все это ведет к возникновению групп специализированных клеток, которые отвечают за транспорт, за жесткость и прочность, за защиту. Возникают ткани. А именно ткани — это то самое, что отличает растения от водорослей и других протист.

ВИД РАСТЕНИЯ ИЗНУТРИ

Мы уже не раз повторяли, что ткань — это группа специализированных клеток, выполняющих в организме определенную функцию. Причем имеются в виду клетки соматические, «телесные». Появление в организме особых клеток, ответственных за размножение, — тоже специализация, но такие клетки тканью не считаются. Ткани появляются на определенном этапе развития органического мира, при этом уровень специализации клеток увеличивается, вообще говоря, постепенно. Четкую границу между тканью и «нетканью» провести невозможно. Соответственно, размыта и граница между протистами и «высшими» царствами многоклеточных. И ничего с этим не поделаешь, такая биология наука. Точнее, с таким объектом биология имеет дело.

Развитая ткань может состоять из одного типа клеток (простая ткань) или из нескольких (ткань сложная). Надо сказать, что и у растений, и у животных число видов тканей весьма ограниченно. Возникнув на начальных этапах



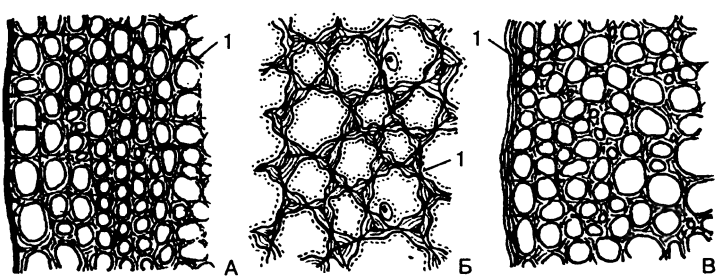
Паренхима

эволюционного пути, ткани в дальнейшем изменялись мало, и число их не увеличивалось. Соединительная или нервная ткань ланцетника мало отличается от аналогичных тканей млекопитающих, а проводящая ткань хвощей и папоротников уже почти не отличается от тканей продвинутых покрытосеменных.

Паренхима — простая ткань, её клетки, в общем, почти не приобрели ярко выраженных черт специализации, по форме и строению они наиболее близки к клеткам нормальных одноклеточных протист. Из паренхимы в основном состоит кора корня и стебля (не путать с пробковым слоем на стволах деревьев), сердцевина стебля, мякоть плодов. Клетки паренхимы могут заниматься фотосинтезом, в них

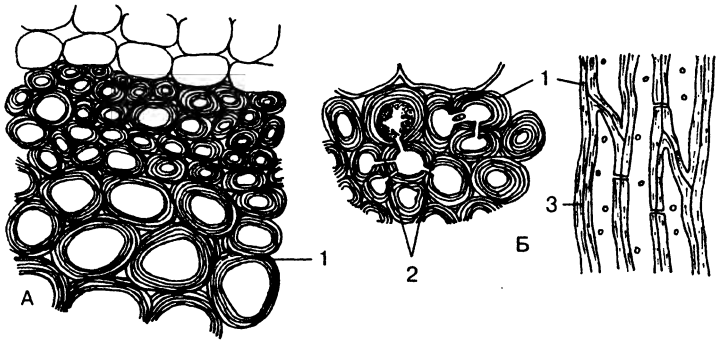
могут откладываться запасные вещества, они участвуют в секреции — выделении тех или иных веществ, необходимых растению для внутреннего пользования или поставляемых «на экспорт», например, для защиты от одних животных или для привлечения других.

Колленхима — ещё одна простая ткань, состоящая из сильно вытянутых клеток с утолщенными целлюлозными оболочками. Она обычно располагается под эпидермой (кожицей) молодых растений или молодых побегов и служит для придания им жесткости, то есть, по сути, является опорной тканью. Третий тип простой ткани — склеренхима. Она может встречаться в любых частях растения и также служит для опоры и защиты. Но, в отличие от живой колленхимы, клетки склеренхимы, сформировав толстые оболочки, пропитанные не только целлюлозой, но и лигнином, отмирают, и функцию защиты и опоры выполняют их трупы. Эти трупы могут быть вытянутыми — волокна (именно из этих волокон человечество



Колленхима:

А — пластинчатая; Б — уголковая; В — рыхлая. 1 — утолщенные клеточные стенки



Склеренхима:

А — общий вид; Б — при увеличении; 1 — утолщенные (пропитанные лигнином) клеточные стенки; 2 — каналы, соединявшие внутреннее содержимое клеток, пока они были живыми; 3 — первичная (целлюлозная) оболочка

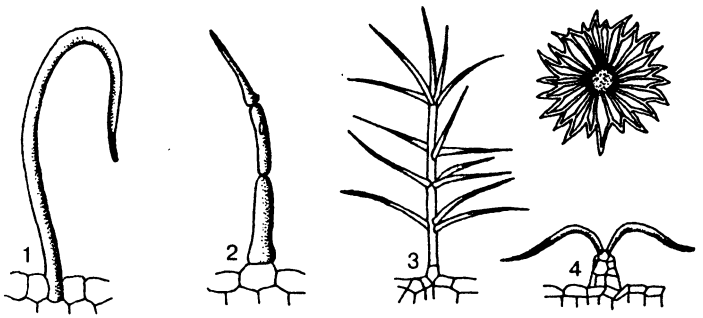
уже много тысячелетий изготавливает ткани, бумагу, вьет веревки и плетет лапти), а могут иметь вытянутую разветвленную, многоугольную или звездчатую форму — из таких мертвых клеток состоит семенная кожура, скорлупа орехов и вишневых косточек.

Эпидерма — покровная ткань, обычно состоящая из одного слоя клеток. Часто этот слой снаружи покрыт восковой кутикулой, предохраняющей растение от потерь воды. Основная масса клеток эпидермы плоская, клетки плотно примыкают друг к другу и лишены хлорофилла. Но среди них рассеяны клетки, выполняющие в составе эпидермы особые функции. Прежде всего это замыкающие клетки устьиц. Кутикула эпидермы не только препятствует потерям воды, но и надежно преграждает доступ воздуха к тканям растения. А воздух — это углекислый газ,

без которого нет фотосинтеза, и кислород, необходимый для дыхания.

Вообще, растение, выбравшись на сушу, оказывается в пиковом положении. С одной стороны, первое правило любого сухопутного существа — береги воду. С другой — без углекислого газа растению никуда. Это противоречие и пытаются разрешить устьица — щели между парами особых клеток, которые, разбухая или уменьшаясь в объеме, регулируют просвет щели и, соответственно, доступ воздуха внутрь и водяного пара наружу. Работа замыкающих клеток требует приличных затрат энергии, и потому эти клетки содержат хлорофилл и сами обеспечивают себя «топливом» для дыхания.

Кроме замыкающих, в состав эпидермы входят особые клетки, образующие микроскопические выросты — трихомы. Это или простые выпячивания клеточной стенки наружу (в частности, корневые волоски), или довольно сложные образования, иногда весьма замысловатой формы, состоящие из нескольких клеток. Трихомы бывают разные и выполняют разную роль. Одни трихомы обеспечивают всасывание воды и минеральных веществ. На это способны не только корневые волоски, но у некоторых растений и трихомы листьев и стеблей. У некоторых видов трихомы образуют густой пушок, предохраняющий растение от перегрева, от потерь воды (не позволяют ветру проникать непосредственно к поверхности листа или стебля), от повреждений насе-

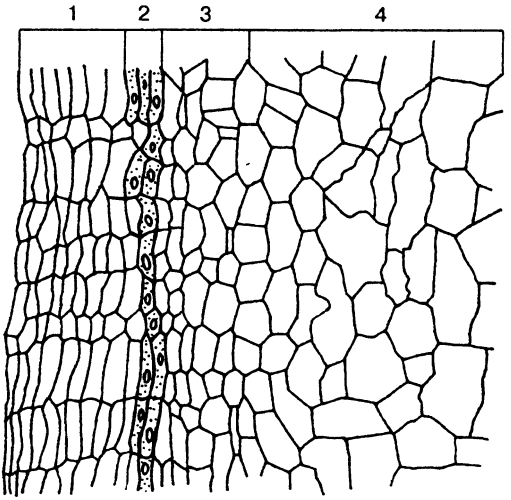


Трихомы эпидермы листьев:

1 — одноклеточный яблони; 2 — многоклеточный табака; 3 — ветвистый коровяка; 4 — звёздчатый лоха (вид сверху и сбоку на срезе)

комыми. И не только от насекомых, жгучие волоски крапивы — тоже трихомы. Трихомы могут вырабатывать защитные вещества, а могут служить органами выделения — удаляя из ткани листа ненужные соли.

Перидерма — тоже покровная ткань, но ткань вторичная, замещающая эпидерму. Что это за штука — вторичная ткань, мы расскажем в следующей главе. То что мы привыкли называть корой, это и есть перидерма. Состоит перидерма из пробкового камбия, который откладывает наружу пробковые клетки, а внутрь — несколько слоев паренхимы, именуемой в этом случае феллодермой. Все вместе — пробковый слой, пробковый камбий и феллодерма — и называется перидермой. Пробка, собственно говоря, это паренхима, клеточные стенки которой состоят из целлюлозы и пропитаны жироподобным веществом, непроницаемым для воды и газов. Клетки эти



Перидерма:
1 — пробка; 2 — пробковый камбий; 3 — феллодерма; 4 — первичная кора

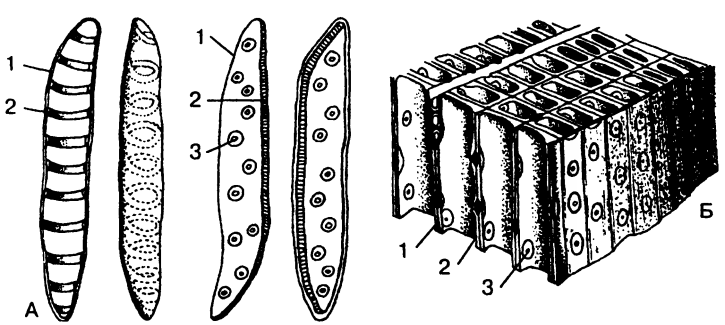
быстро отмирают, и полости мертвых оболочек заполняются или воздухом (собственно то, что мы называем пробкой), или смолами, или таннинами — дубильными веществами. Именно из-за таннинов кора многих растений имеет вяжущий вкус.

Слово «кора» ботаники употребляют несколько в другом смысле, чем все прочие люди, что иногда сбивает этих прочих с толку. В обиходе корой называют пробковый слой перидермы. А ботаники называют корой все, что лежит снаружи от сосудистого камбия.

В рассказах о голодных временах почти обязательно встречаются упоминания о том, что голодающие едят древесную кору. Воображение рисует ужасную картину — изможденный голодом человек гложет кусок сухой коры. На самом деле в пищу употребляли не тол-

стый пробковый слой, в котором нет вообще ничего, что может усвоить человеческий организм, а лежащий под ним тонкий слой пробкового камбия, феллодермы и прилежащий к ним слой вторичной флоэмы — сосудов, наполненных летом сахаристым соком. Это, конечно, нельзя назвать изысканной и очень питательной пищей, но это все же не пробка. В Карелии, где зерновые всегда родили плохо, ещё лет шестьдесят назад в некоторых местностях аборигены собирали летом сосновую кору (пробковый слой выбрасывали), сушили её, мололи и добавляли в ржаную муку. Старики рассказывают, что хлеб получался неплохой, и привыкшие к нему карелы из глухих лесных деревушек предпочитали его чисто ржаному или пшеничному.

И два последних типа ткани — ксилема и флоэма. Это проводящие ткани, и ткани сложные. По ксилеме идет транспорт воды и растворенных в ней минеральных веществ. В состав ксилемы входят клетки паренхимы и склеренхимы (в основном волокна), но основные её элементы — трахеиды и сосуды, или трахеи.



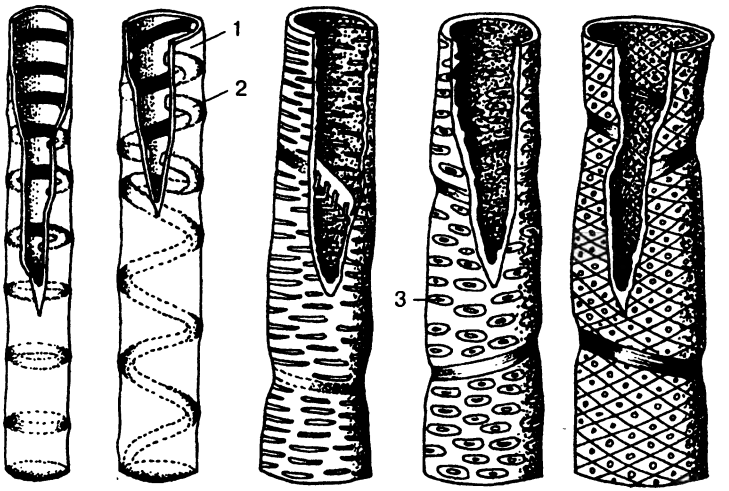
Трахеиды:

А — трахеиды различной формы; Б — проводящая ткань из трахеид с окаймлёнными порами; 1 — тонкая целлюлозная оболочка; 2 — утолщения с лигнином; 3 — поры

Разница между теми и другими, в сущности, невелика. Трахеиды — длинные тонкие клетки, соединённые в последние цепочки, а сосуды состоят из цепочки коротких клеток, которые какой-то начисто лишенный фантазии ботаник назвал в свое время «члениками сосудов». Оболочка трахеид и члеников сосудов пронизана порами. Собственно, главным образом строением и расположением пор они и отличаются друг от друга.

Клетки трахеид и сосудов быстро отмирают, и их оболочки превращаются в секции единой «водопроводной трубы», разделенной перфорированными перегородками на отсеки. Стенки этих клеток очень прочны, они состоят из целлюлозы, пропитанной лигнином, часто стенки имеют ещё кольчатые или спиральные утолщения, повышающие прочность. Проникающие во все части растения пучки «водопроводных труб» служат одновременно, главным опорным элементом, «скелетом» любого растения. То, что мы с вами называем древесиной, это и есть ксилема. Трахеиды — более примитивный тип проводящих клеток, чем членики сосудов. У большинства папоротников, хвощей и голосеменных «водопровод» построен только из трахеид, а у большинства цветковых преобладают сосуды. Но множество видов и групп имеет смешанную водопроводящую систему.

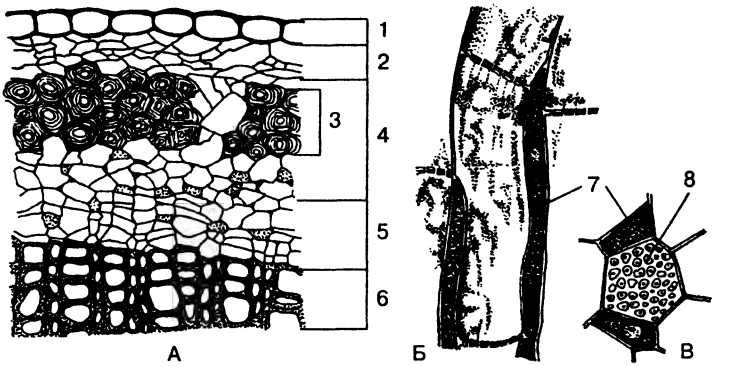
Если ксилема — это водопровод, то флоэма предназначена для транспортировки органических веществ, прежде всего углеводов, от мес-



Сосуды:
1 — тонкая целлюлозная оболочка; 2 — утолщения с лигнином; 3 — поры

та их производства к месту потребления или к месту, где откладываются запасы. Принцип устройства флоэмы абсолютно такой же, как ксилемы: её основные элементы — это цепочки вытянутых клеток с пористыми оболочками, из которых слагаются разделенные на секции сосуды. Точно так же существует два типа этих клеток — более примитивные ситовидные клетки и продвинутые «членики ситовидной трубки», из которых складываются, соответственно, два типа сосудов.

Принципиальная разница между флоэмой и ксилемой, помимо деталей строения самих клеток и их оболочек, в том, что клетки флоэмных сосудов остаются живыми и в зрелом состоянии. Правда, они теряют ядра, рибосомы



Флоэма:

А — поперечный срез стебля льна; Б — ситовидная трубка, продольный срез; В — то же, поперечный срез; 1 — эпидермис; 2 — первичная кора; 3 — флоэмные волокна; 4 — флоэма; 5 — камбий; 6 — ксилема; 7 — клетка-спутник; 8 — поры между двумя клетками ситовидной трубки

и многие другие органеллы. От клетки остаются цитоплазматическая мембрана и тонкий слой цитоплазмы, покрывающие изнутри стенки «секции» сосуда. Цитоплазма содержит немного митохондрий и лишенных хлорофилла пластид. Клетка без ядра и рибосом мало на что способна самостоятельно, поэтому в каждой «секции» есть ещё одна плоская клетка, прилегающая к «членику ситовидной трубки» (называется клетка-спутник) или к ситовидной клетке (альбуминовая клетка). Клетка-спутник — двойник членика, они обе возникают в результате деления одной материнской клетки при формировании ситовидной трубки. Альбуминовые клетки своим ситовидным напарницам не родственники. Но и те и другие обеспечивают жизнедеятельность ущербной про-

водящей клетки и, когда проводящая клетка отмирает, гибнут вместе с ней.

Клетка, которая приобрела узкую специальность и стала клеткой какой-либо ткани, часто, хотя и не обязательно, теряет способность к делению. И уж во всяком случае она теряет способность менять специальность. Есть, однако, в растительном организме группы клеток, которые сохраняют не только способность делиться, но их отпрыски способны к тому же приобретать различные специальности. Эти группы клеток называются меристемами. По месту расположения их разделяют на две главные категории: апикальные (верхушечные) меристемы, расположенные на кончиках корней и побегов, и латеральные (боковые) меристемы, залегающие сплошными продольными полосами или единым цилиндром по всей длине корней и стеблей. Латеральные меристемы называют ещё камбием, и бывает камбий двух типов: сосудистый, образующий элементы проводящей системы, и пробковый, о котором мы уже говорили. За счет меристем и происходит рост: верхушечные меристемы обеспечивают рост в длину (высоту), а боковые — в толщину.

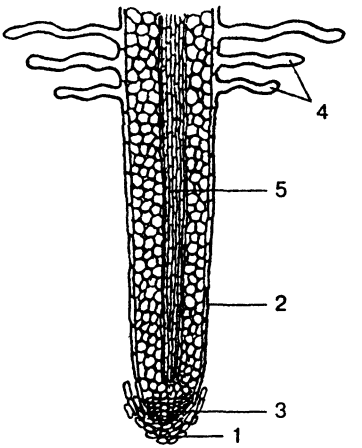
ВИД РАСТЕНИЯ СНАРУЖИ

Ткань — это система из специализированных клеток, выполняющая определенную работу. Орган — часть тела, выполняющая определенную работу и состоящая из взаимо-

действующих тканей. То есть орган — это система из тканей. Поэтому даже если тело разделяется на разные рабочие части, но настоящие ткани у организма не сформированы, то и эти части органами называть не принято. Например, ножку с отростками на конце, которая удерживает на дне слоевище бурой водоросли, ботаники обычно называют не органом прикрепления, а прикрепительной структурой.

Основные органы растения — это корень, стебель и лист. Корень удерживает растение в почве и обеспечивает минеральное питание. Первый корешок, который закладывается у зародыша, у голосеменных растений и у двудольных становится главным корнем, от которого отходят боковые. У однодольных, в частности у злаков, первичный корень живет недолго и корневая система у них состоит из придаточных корней, которые отходят от нижней части стебля. В любом случае кончик корня прикрыт особым «наконечником» из довольно крупных клеток — корневым чехликом. Этот чехлик защищает апикальную меристему, когда кончик корня протискивается в толще почвы. Внешние клетки чехлика слущиваются, давая слизь, которая «намыливает» кончик корня, облегчая ему передвижение. За корневым чехликом идет молодая часть корня, длиной в несколько сантиметров, покрытая первичной корой — эпидермой. Как вы, наверное, помните, эпидерма, и только она, образует длинные тонкие выросты — корневые волоски. На более старой части корня эпидерма замещается вто-

ричной корой, и здесь уже всасывания не происходит. Обычно корни растут непрерывно, делая перерыв только в случае сильной засухи или понижения температуры. Кончик корня, покрытый корневыми волосками, довольно быстро высасывает из окружающей почвы воду, и движение корня вперед — это, по сути, поиск воды и пищи. Нормальная скорость роста корней у деревьев может достигать пары сантиметров за сутки, а у некоторых трав — пяти-шести сантиметров. У растения ржи к моменту созревания семян общая площадь корневых волосков достигает десяти тысяч километров, а общая площадь поглощающей воду и минеральные вещества поверхности составляет около четырех соток! Часть корня, состоящая из вторичных тканей, во-первых, удерживает растение в земле, а во-вторых, в паренхиме корней многие растения откладывают основную массу запасных веществ.

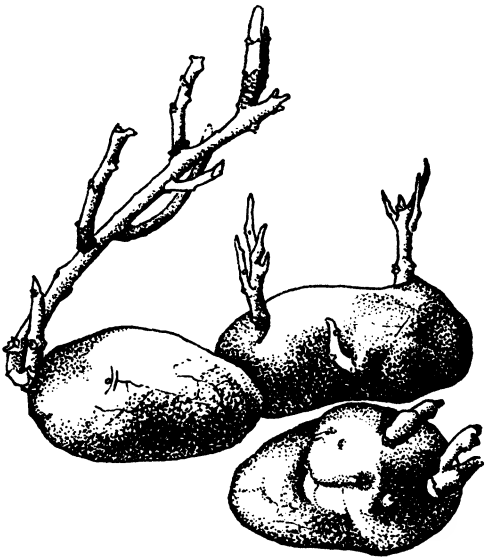


Строение корня:
1 — корневой чехлик; 2 — эпидерма корня; 3 — конус нарастания; 4 — корневые волоски; 5 — проводящий пучок

Стебель, как и корень, выполняет несколько функций. У большинства современных растений основная задача стебля — поднять к солнцу листья, основные органы фотосинтеза.

Соответственно, стебель обязан выполнять также роль связующего звена между двумя системами питания, и его проводящая система обеспечивает транспорт органических веществ от листа ко всем другим частям растения и воды и минеральных веществ от корня к листьям. Паренхима стебля часто служит местом, где концентрируются запасы питательных веществ и воды. Кактусы, стебель которых служит настоящей водяной цистерной, известны каждому. В тропиках широко распространены саговники (растения, напоминающие пальму, но относящиеся к голосеменным — родственники сосны и елки) и саговые пальмы (настоящие пальмы из покрытосеменных однодольных — родственники овса и пшеницы). В сердцевине ствола этих растений содержится крахмал, причем в таком количестве, что зерна этого крахмала (саго) в некоторых местах служат основной пищей аборигенов. Впрочем, за примерами не обязательно ехать в тропики. Клубни картофеля — это тоже утолщенные стебли (побеги), служащие для хранения запасов.

У многих растений, в основном травянистых, стебель занимается ещё и фотосинтезом — его паренхима содержит хлорофилл. И если у большинства наших трав это вовсе не главная его работа, то у многих растений засушливых мест от листьев остаются только чешуйки или они превращаются в колючки, а весь фотосинтез берет на себя стебель. Фотосинтезировать могут многолетние части стебля (у тех же кактусов), а могут отращиваться специальные



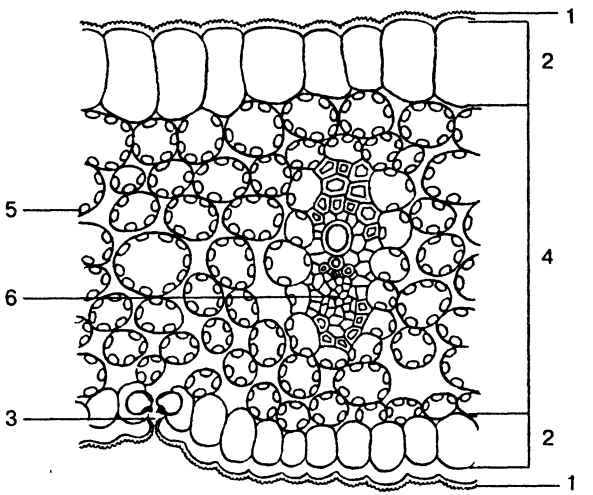
Клубни картофеля

побеги, которые осенью опадают, подобно листьям (например, у саксаула). Четыреста миллионов лет назад, когда растения только начали осваивать сушу, фотосинтез целиком лежал на стебле, до листьев дело ещё не доходило. Собственно, стебель выполнял тогда две функции. Первой и главной был фотосинтез. Кроме того, стебель поднимал над субстратом спорангии, что увеличивало дальность разброса спор — тоже немаловажное дело. Строго говоря, и стеблем это образование назвать ещё нельзя, у самых древних растений не было не только листьев, но и осевая часть тела ещё не подразделялась на корень и стебель. Тело растения стелилось по земле или лежало неглубоко под землей, как корневища некоторых

современных растений, поднимая вертикально вверх прямые или ветвящиеся отростки. К субстрату растение прикреплялось нитевидными выростами первичной коры — ризоидами. Проводящая система этих растений, кстати, больше напоминала центральный проводящий пучок современного первичного корня, а не стебля. Так что, вообще говоря, вначале был скорее корень, чем стебель. Говоря о древних растениях, ботаники стараются не употреблять слов «стебель» или «побег», тело растения называют осью.

Листья растения приобрели, вероятно, раньше, чем настоящий корень и настоящий стебель. Лист — это не что иное, как сплющенный боковой отросток «стебля», который сплющился для того, чтобы увеличить поверхность, подставленную солнцу, «захватить» больше солнечного света.

Вариантов строения листа, так же как и стебля, великое множество. Но, так же как и в случае со стеблем, это именно варианты одной базовой схемы. Листовая пластинка покрыта плотной эпидермой, которая выделяет на поверхности листа тонкую пленку восковидного вещества — кутина. Точнее, это смесь веществ, но дела это не меняет. Пленка называется кутикулой и предохраняет лист от потерь воды. Как и положено эпидерме, она несет разнообразные трихомы и в ней расположены устьица, о чем мы уже говорили в главе «Вид растения изнутри». Устьиц больше на нижней поверхности листа, а иногда они вообще толь-



Строение листа на срезе:

1 — кутикула; 2 — эпидерма; 3 — устьица; 4 — мезофилл; 5 — хлоропласты; 6 — проводящий пучок («жилка»)

ко на нижней поверхности и имеются. Жилки — это нормальные проводящие пучки, состоящие из ксилемы и флоэмы. Поскольку лист развился из боковой оси, то флоэма оказывается внизу жилки, а ксилема вверху. Проводящие ткани в большинстве случаев первичны, но у некоторых растений жилки листьев способны и к вторичному росту. Проводящий пучок окружен плотным слоем паренхимных клеток (обкладка пучка) и часто сопровождается колленхимой или волокнами. Все это вместе и составляет жилку. Жилки и плотная эпидерма служат, кроме всего прочего, жестким каркасом листа. Мякоть листа состоит из паренхимных клеток, содержащих хлорофилл. Называется эта «мякоть» мезофиллом, и именно

мезофилл отвечает за фотосинтез. Между клетками мезофилла имеются полости, которые связаны с атмосферным воздухом через устьица, то есть он напоминает губку. Мезофилл может быть однородным по всей толще листа, но чаще слой на верхней стороне состоит из столбчатых клеток, ориентированных длинной осью под прямым углом к эпидерме (палисадная паренхима), а слой нижней стороны состоит из обычных паренхимных клеток неправильной формы (губчатая паренхима).

ВЕЧНАЯ ЖАЖДА

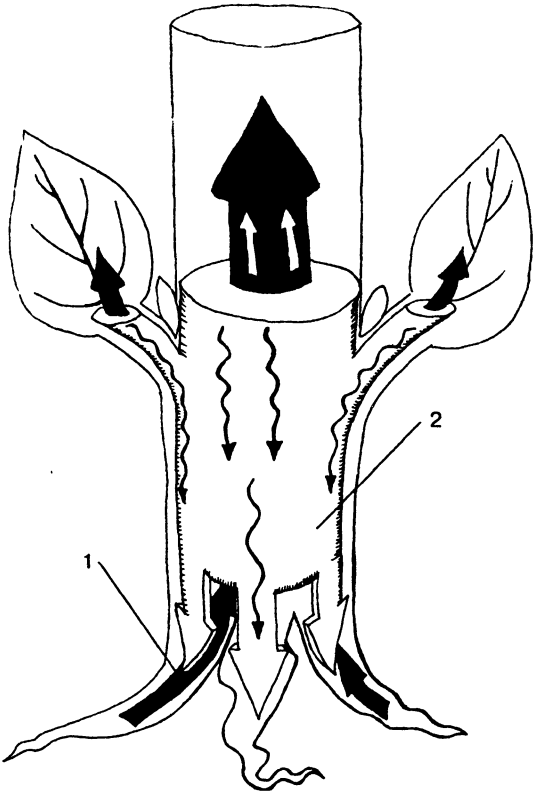
Вода — штука, любому организму совершенно необходимая. Живая клетка состоит более чем наполовину из воды, все биохимические реакции, как, впрочем, и большинство химических реакций вообще, не идут «посуху», взаимодействия молекул происходят в водном растворе. Кроме того, вода сама участвует во многих реакциях напрямую, в частности, при фотосинтезе водород, входящий в состав синтезируемой глюкозы, растение отбирает у воды. У растений и животных вода вдобавок ко всему — главное транспортное средство. Различные вещества переносятся от одной части тела к другой при помощи воды. В одной части тела вещество поступает в раствор, в другой — извлекается из раствора соответствующими тканями. В ходе жизнедеятельности значительная часть воды теряется, причем большая

часть потерь — это элементарное испарение в ходе газообмена. Ни один организм не способен полностью изолировать свои ткани от атмосферного воздуха. То есть в принципе это возможно, но как тогда получать кислород и углекислый газ? Волей-неволей организм вынужден разрешить части своих тканей контактировать напрямую с воздухом. Мало того, контактирующая поверхность должна быть влажной, ведь газы должны поступить в раствор, иначе как их использовать. А коль скоро состоящие на 80–90 процентов из воды клетки контактируют с воздухом — испарение неизбежно. Животные, кстати, и отработанные продукты выводят из организма с водой, это тоже очень существенные потери. Так что воды организму нужно много.

На первый взгляд растение, по сравнению с животным, находится в выигрышном положении. И процесс метаболизма идет у него, как ни крути, не столь интенсивно, и, главное, ему не требуется вода для вывода «отходов». В отличие от животных, большинство растений выделяет отходы своей биохимической кухни в сухом виде. Или просто блокирует их в собственном теле, в частности, в мертвых клетках пробки и вторичной ксилемы. Поскольку бегать растению не надо, то его эти склады мусора не тяготят. Даже наоборот. Большинство отходов токсично, и откладывая их в своей ткани, растение снижает свою съедобность, что идет ему только в плюс. Однако ещё триста лет назад натуралисты установили, что растение потребляет

в двадцать раз больше воды, чем животное аналогичного веса. В чем дело? Дело в том, что у растения нет мышц, которые, тем или иным способом «гоняют» воду в теле животного. Движение соков у растения устроено совершенно иначе, и именно перенос веществ от корневой системы к листьям требует от растения ненасытно сосать, сосать и сосать воду из почвы.

Воду и минеральные вещества растение получает из почвы через корневую систему, и по каналам ксилемы раствор поступает к листьям. Это известно давно, и существует масса простых и остроумных опытов, которые это доказывают. Но каким образом вода, несущая раствор минеральных веществ, поднимается вверх? Причем это «вверх» у самой обычной сосны, березы или осины составляет 30–40 метров, а у секвойи и эвкалипта известны деревья высотой в полторы сотни метров. Насос растению нужен очень мощный — представьте, что вы пытаетесь напиться через трубочку из колодца стометровой глубины. Как же этот насос устроен и где он расположен? По ходу движения, в сосудах ксилемы, таких насосов нет, ведь ксилема состоит из мертвых клеток — это, по сути, обычная водопроводная труба. Значит, воду необходимо или «толкать» снизу (тогда насос надо искать в корневой системе), или «тянуть» сверху (тогда его надо искать в листьях). Насос этот должен быть весьма мощным — чтобы поднять воду в крону березы, нужно давление около 3–4 атмосфер, а в крону старой секвойи — около 15 атмосфер.



Транспорт воды в растениях (схема):

1 — подъём воды с минеральными солями вверх по ксилеме;
2 — транспорт сахаров от листьев к корням и др. органам

Клетки эпидермы корня активно поглощают из почвенного раствора ионы минеральных веществ. Это именно активный перенос через мембрану, с участием особых переносчиков и затратами энергии. В результате в клетках корня (в том числе и в растворе, заполняющем ксилему) создается концентрация ионов, в десятки раз превышающая концентрацию

почвенного раствора. По закону осмоса вода из почвы устремляется в клетки корня и в ксилему. Объем раствора увеличивается, возникает так называемое корневое давление, которое заставляет раствор подниматься вверх по ксилеме. Однако корневое давление у всех растений, у которых оно есть, оказалось невелико, оно совершенно недостаточно, чтобы поднять воду в крону высокого дерева. А у многих растений, в частности у хвойных, корневое давление вообще не развивается.

Как оказалось, насос, поднимающий воду, расположен в листьях. Когда вода испаряется с оболочек клеток мезофилла, окружающих полости внутри листа, концентрация раствора в клетке увеличивается. Клетка «оттягивает» воду от соседей, лежащих глубже, и так далее, «по цепочке», пока очередь не доходит до сосудов ксилемы, расположенных в жилке. В результате устанавливается натяжение воды в сосудах ксилемы. Вода практически не сжимается (и, следовательно, не растягивается), а столб воды очень прочен на разрыв — около двух тонн на квадратный сантиметр сечения. В результате натяжение достигает корней и вытягивает из них раствор, а корни, в свою очередь, вытягивают воду из почвы. В результате вода движется вверх, неся с собой минеральные вещества и непрерывно поддерживая влажность клеточных оболочек мезофилла. А это, как мы уже говорили, необходимо для поддержания газообмена с атмосферным воздухом.

В таком способе транспортировки воды есть один, очень большой, плюс. Если корневое давление (равно как и циркуляция раствора при помощи мышечных сокращений) требует от организма затрат энергии, причем затрат весьма существенных, то при системе транспирационного транспорта растение не тратит ничего — используется непосредственно энергия солнца. Но каждое достоинство имеет свое продолжение в виде недостатков. Недостаток данной системы столь же велик, как и её достоинство — растение вынуждено расходовать огромное количество воды. Кроме того, насос этот плохо работает, когда холодно и вода плохо испаряется. С этим обстоятельством связана «арктическая засуха». Растения северных мест, как правило, страдают от недостатка воды, хотя в почве её полно, и часто имеют облик, схожий с растениями пустынь — мелколистность, плотные покровы, густое опушение стеблей и листьев.

Транспортировка органических веществ по флоэме также основана на законах осмоса, но требует очень активного участия клеток и расхода энергии. Суть дела довольно проста. Сахара, которые синтезируют хлоропласты в клетках мезофилла, путем активного переноса через мембраны загружаются в клетки флоэмы. На всякий случай напоминаем, что клетки флоэмы, в отличие от клеток ксилемы, — живые. Загружаются клетки флоэмы через клетки-спутники (вспомните раздел «Вид растения изнутри»), которые и несут основные

энергетические расходы по загрузке. В месте потребления, например в зоне роста корня или побега, клетки флоэмы так же активно разгружаются. В месте загрузки концентрация клеточного содержимого увеличивается, клетка начинает активно «сосать» воду из проходящего рядом сосуда ксилемы, вода «распирает» клетку, возникает повышенное давление. В месте разгрузки — все наоборот. В результате разницы давлений и происходит ток раствора по трубке флоэмы от одного органа к другому. Кстати, по флоэме транспортируются не только сахара, но и другие продукты синтеза, в частности аминокислоты, хотя и в меньшем объеме.

СОСУДИСТЫЕ И НЕ ОЧЕНЬ

Около четырехсот сорока миллионов лет назад, в начале силурийского периода, поверхность материков была пустыней, грунт в которой местами покрывала тонкая пленка цианобактерий и одноклеточных водорослей. Но низменные берега водоемов, вероятно, уже зарастали ковром из созданий, более всего напоминавших ветвящиеся зеленые макароны, со светлыми вздутиями на кончиках приподнятых ветвей. Вероятней всего, именно так выглядели первые зеленые растения или, скорее, существа, стоящие на полпути от водорослей к растениям. Эти «макароны» дали начало двум ветвям растительного царства —

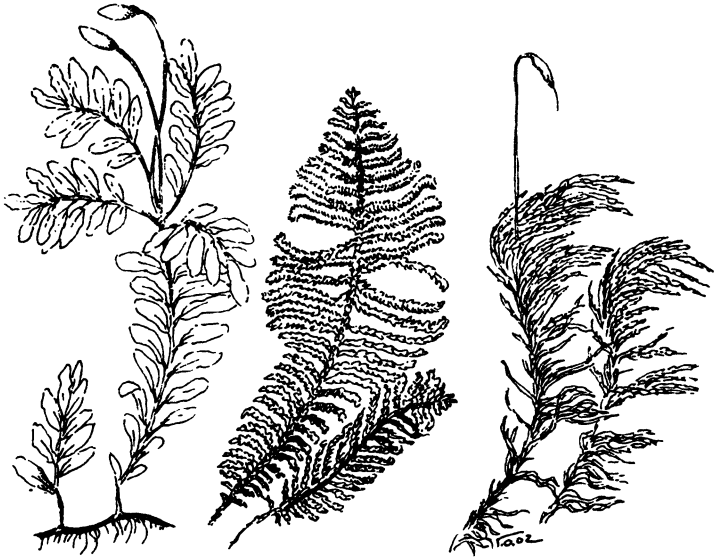
Первые сухопутные растения

моховидным растениям (они же бриофиты) и растениям сосудистым. Не исключено, правда, что бриофиты и сосудистые произошли от разных групп зеленых водорослей, но большинство ботаников склоняется к мысли, что у них был один предок.

Одно из различий между моховидными и сосудистыми отражено в их названии — у моховидных иначе устроены проводящие ткани. Впрочем, не так уж велико различие. Проводящая жилка несет центральный пучок мертвых клеток (гидроидов), который окружен клетками с дегенерировавшим ядром и живым протопластом (лептоиды). И те и другие вытянуты и соединяются скошенными концами в цепочки, первые проводят воду, вторые — органические вещества. И по структуре, и по взаимному расположению проводящие клетки бриофитов очень напоминают ксилему и флоэму сосудистых, особенно хвощей

Печёночник маршанция многообразная

Антоцеротовый мох



Мниум волнистый

Птилиум гребенчатый (страусово перо)

Дикранум метловидный

Листостебельные мхи

и папоротников. Конечно, строение проводящего пучка моховидных намного проще, но ботаники считают, что проводящие клетки мхов и сосудистых растений происходят от одних и тех же групп клеток их общего предка. Просто моховидные почему-то не стали совершенствовать проводящие ткани и удовлетворились их примитивным состоянием.

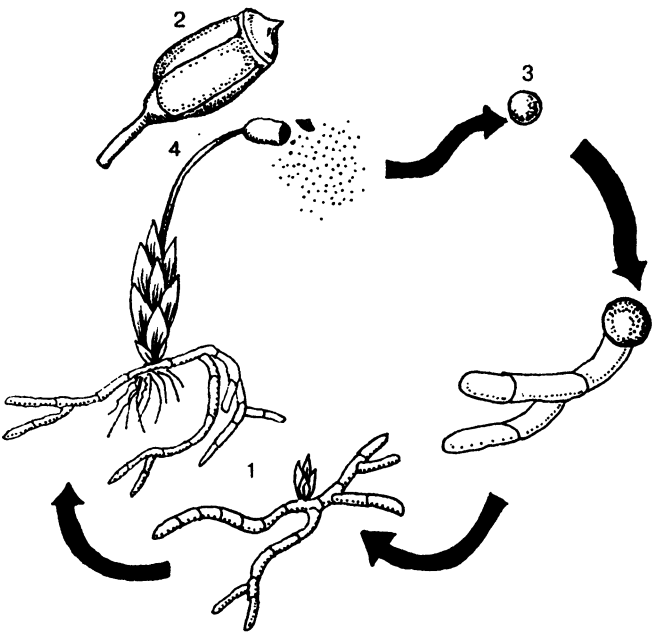
В отделе моховидных три класса: печеночники, антоцеротовые мхи и листостебельные мхи. Многие ботаники считают эти группы не классами, а отделами, независимо произошедшими от разных предков. Все моховидные — некрупные растения, хотя ветвящиеся гаметофиты некоторых мхов могут достигать полуметра в длину. И всем моховидным, даже тем, что растут в пустыне, для оплодотворения нужна вода, хотя бы в виде росы.

РАЗМНОЖЕНИЕ МХОВ

Спора мха, попав в подходящие условия, начинает делиться и возникает организм, удивительно похожий на нитчатую водоросль, — протонема. На нитях протонемы через некоторое время появляется «шишка» из группы клеток. Это своего рода почка, из которой разовьется то самое растение, которое мы привыкли называть мхом. И спора, и протонема, и мох обладают одинарным набором хромосом — гаплоидны. На верхушках побега мха образуются половые органы — архегонии

(женские) и антеридии (мужские). Это крошечные «кувшинчики», которые можно разглядеть только при помощи приличного увеличительного стекла. В архегонии формируется одна крупная яйцеклетка, в антеридии — множество мелких клеток со жгутиками — спермии. Эти половые клетки и есть те самые гаметы, от которых произошло название поколения — гаметофит.

Далее требуется дождь или роса, которые создадут пленку воды, чтобы спермии могли доплыть до архегониев и слиться с яйцеклеткой, образовав диплоидную зиготу. У некоторых бриофитов спермии выбираются из антеридиев самостоятельно и наудачу отправляются в плавание. У некоторых они выдавливаются наружу и ждут попадания дождевой капли, чтобы разлететься с брызгами в разные стороны. Добраться до архегония удается единицам из тысяч. Зигота делится, и в кувшинчике архегония формируется зародыш спорофита — следующего, диплоидного, поколения. Зародыш получает питание от гаметофита через клетки архегония. На начальном этапе архегоний вдобавок защищает юного потомка от враждебного окружающего мира. Спорофит растет, высовывается из архегония, вытягивается на длинной ножке, но остается прикрепленным к гаметофиту особой структурой — стопой, через которую гаметофит продолжает его питать. На верхушке спорофита формируется особая структура, спорангий, в котором в результате мейоза образуются гаплоидные



Жизненный цикл мха:
1 — гаметофит; 2 — спорангий; 3 — спора; 4 — спорофит

одноклеточные споры. Споры разносятся ветром или водой, а у многих моховидных спорангии устроены таким образом, что, созревая, лопаются, с силой разбрасывая споры в разные стороны. Споры, рассыпавшись по окрестностям, в свою очередь начинают делиться, давая каждая начало новому гаметофиту.

Таков жизненный цикл моховидных. Здесь кроется второе, пожалуй, самое важное различие между моховидными и сосудистыми. «Главное» поколение моховидных, как вы видите, — гаметофит. Это довольно крупное, долгоживущее растение, способное самостóятельно

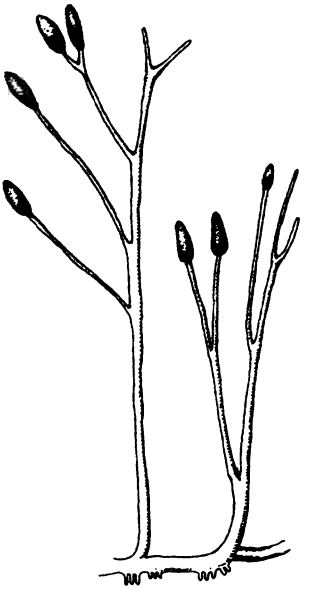
питаться и противостоять всем жизненным невзгодам. Спорофит же значительно меньше, кормит его гаметофит, и жизнь его сравнительно коротка. У сосудистых все наоборот. Гаметофит мал и недолговечен, у продвинутых форм сосудистых он полностью зависит от спорофита, а спорофит — это то самое, что мы привыкли называть деревом, кустом или травой.

Ставка на спорофит дала впоследствии сосудистым растениям серьезный выигрыш — диплоидные организмы способны «накопить» в геноме больше разнообразных свойств и, соответственно, при изменении условий они быстрее и легче приспосабливаются. В результате сосудистые дали в несколько раз больше видов, чем бриофиты, и плотно заселили всю сушу. Впрочем, бриофиты не жалуются. На Земле сейчас известно свыше двадцати тысяч видов мохообразных, которые заселяют планету от Антарктиды до тропиков и от болот до песчаных пустынь. Они способны расти практически повсюду: от жирной почвы лугов до бесплодной поверхности скал.

САМЫЕ ДРЕВНИЕ

Зеленые «макароны», упомянутые в главе «Сосудистые и не очень», принадлежат к весьма интересной группе растений, процветавшей в силуре и начале девона. Ботаники-анатомы делят эти древнейшие растения на несколько отделов и считают всю эту компанию сосудис-

тыми растениями. Палеоботаники обычно относят их к одному отделу с замысловатым названием проптеридофиты и предполагают, что это и есть та предковая группа, которая дала начало сосудистым и моховидным. Среди них есть растения разного уровня совершенства с разными деталями анатомического строения, но для впервые возникшей группы, которая начала осваивать новое, никем не занятое пространство, такое разнообразие естественно — разные члены группы осваивают места с разными условиями и эволюционируют с разной скоростью. Наиболее древние и примитивные из проптеридофитов — риниевые. Это и есть те «зеленые макароны» с простыми одиночными спорангиями на концах осей. Ни стебля, ни корня, ни листьев ещё нет, рост исключительно верхушечный (никакого камбия нет и в помине), а проводящий пучок очень напоминает проводящие ткани моховидных. В отложениях верхнего силура и нижнего девона сохранились как спорофиты риниевых, так и очень похожие на них гаметофиты. Принадлежат ли ископаемые спорофиты и гаметофиты к разным

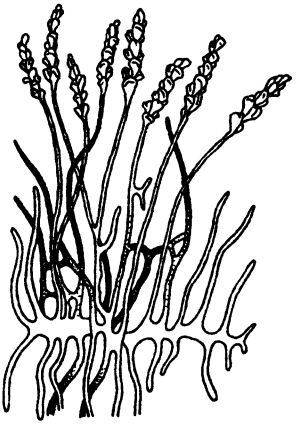


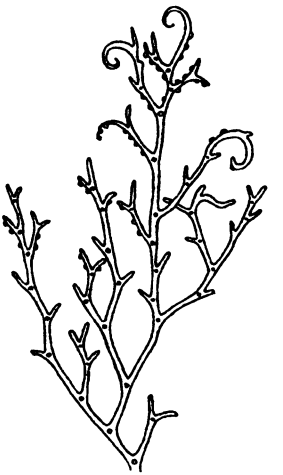
Риния

поколениям одного вида, или существовали одновременно родственные виды, из которых у одних преобладал гаметофит, а у других спорофит — неизвестно. Но это и не особенно важно. Важно то, что в пределах одной группы были и растения с крупным долгоживущим гаметофитом, и с аналогичным спорофитом. И вероятно, именно отсюда началась эволюция двух ветвей, в одной из которых получил преимущество гаметофит, в другой — спорофит.

Мы уже говорили, что моховидные очень долго были редкими и малочисленными растениями. Ископаемых находок моховидных девонского времени крайне мало, и они представлены мелкими фрагментами не очень хорошей сохранности. Более или менее прочной связи моховидных с риниевыми доказать пока не удается, просто это наиболее логичный вариант. Что же касается сосудистых, то их связь с риниевыми вызывает гораздо меньше сомнений. Две группы риниевых ещё в силуре начали, каждая по-своему, развивать приспособления к жизни на суше. Одна из них дала зостерофиллов, другая — тримерофитов. К тримерофитам относятся знаменитые псилофиты, самые многочисленные растения девонских болот.

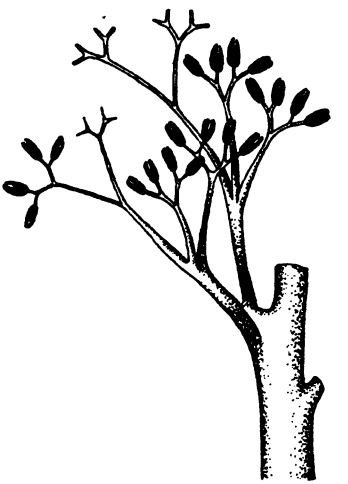
Вообще же, откровенно говоря, с точки зрения неспециалистов все три группы — риниевые, зостерофиллы и тримерофиты — мало отличались друг от друга. Никто из них не имел ещё разделения на корень и стебель, все были низкорослыми, но у зостерофиллов и тримерофитов строение проводящих тканей несколь-



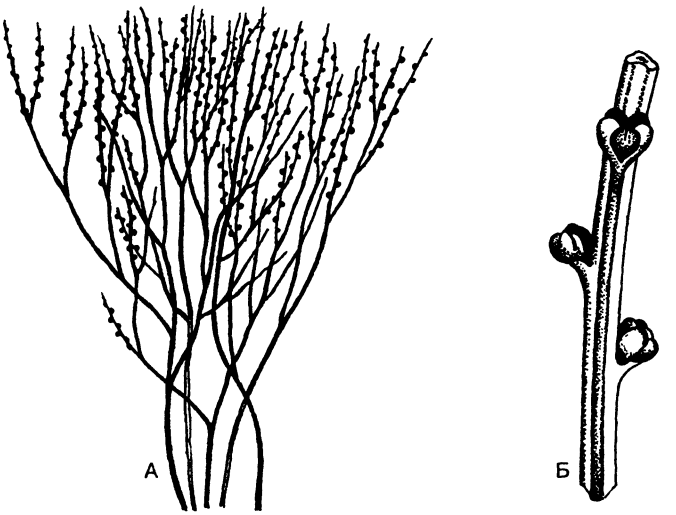


Зостерофиллофиты

ко более продвинуто, строение спорангиев более сложно, спорангии собраны в «соцветия», у некоторых на «стебле» были чешуевидные выросты. Зостерофиллы — предки плаунов, существующих на Земле и поныне. Сами же зостерофиллы вымерли ещё в девонском периоде. От тримерофитов произошли, вероятно, папоротники, хвощи и семенные растения. Два вида тримерофитов ухитрились дожить до наших дней. Это псилот — довольно обычный сорняк



Тримерофит

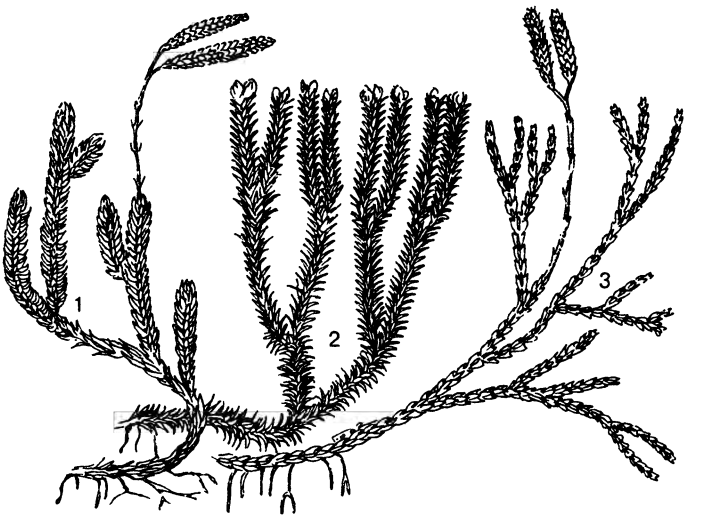


Псилот:
А — общий вид; Б — часть стебля со спорангиями

оранжерей, и тмезиптерис, растущий на стволах древовидных папоротников. Оба — жители тропиков и субтропиков.

ПЛАУНЫ, ХВОЩИ И ПАПОРОТНИКИ

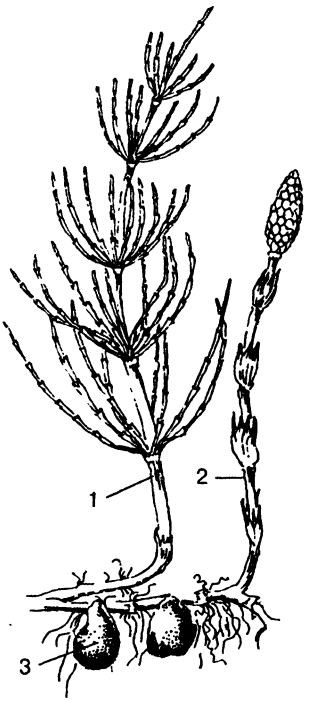
Все три отдела, перечисленные в названии главы, относятся к споровым растениям. Плауны, или, правильней, плауновидные, — в наше время мелкие, невзрачные травы, живущие в основном во влажных местах. Хотя обыкновенный плаун — баранец — весьма обычное у нас лесное растение, но многие даже не знают его в лицо, считая каким-то мхом. Однако так было не всегда. В конце девонского пе-



Плауны:
1 — булавовидный; 2 — баранец; 3 — сплющенный

риода и до конца каменноугольного, более ста миллионов лет, плауновидные были ведущей группой растений. Среди них были деревья, лепидодендроны, высотой до сорока метров, и именно они были главной лесной породой тех времен. Были среди древних плауновидных и травы, и кустарники.

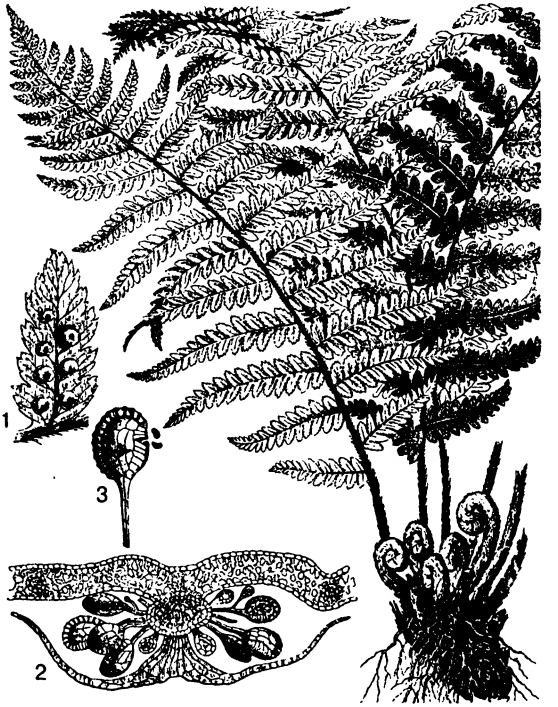
С хвощами знакомы все. Это тоже группа, слава которой в прошлом. Сейчас все хвощи — невысокие травы. Но в карбоне двадцатиметровые каламиты, очень похожие на современный хвощ, только гигантского размера, росли нижним ярусом в лепидодендровых лесах. Папоротники, появившиеся, вероятно, почти одновременно с хвощами и плаунами, достигли расцвета несколько позже и продолжают



Хвощ полевой:
1 — вегетативный побег;
2 — генеративный побег;
3 — клубеньки

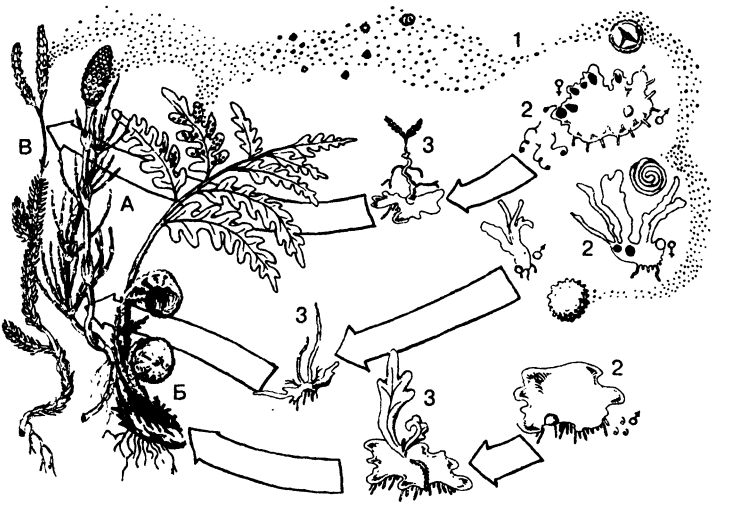
вполне успешно существовать до сих пор. Сейчас на Земле растет около полутора десятков тысяч видов разных папоротников (плауновидных — около тысячи, а хвощей всего два десятка). Во времена динозавров среди папоротников было множество как травянистых, так и древесных растений. Ныне древовидных папоротников осталось всего несколько видов, но в горных лесах Новой Гвинеи, Новой Зеландии и Антильских островов они весьма обычны и местами занимают ведущее место в древостое.

Жизненный цикл всех споровых растений относится к одному типу. На спорофите формируются своего рода бугорки (спорангии), внутренние клетки которых делятся путем мейоза, превращаясь в гаплоидные споры. Спора падает на землю, клетки её начинают делиться, оболочка разрывается, на свет появляется маленькая многоклеточная пластинка размером с булавочную головку — гаметофит. Проводящих тканей у него нет, впрочем, как и любых других.



Папоротник щитовник мужской:
1 — пёрышко вайи; 2 — сорус (собрание спорангиев); 3 — спорангий

Воду и минеральные вещества гаметофит сосет с помощью длинных тонких выростов поверхностных клеток, сродни корневым волоскам, которые называются ризоидами. В состав гаметофита может входить симбиотический микоризный гриб, обеспечивающий минеральное питание (глава «Невидимая сила). Основная масса клеток гаметофита имеет тип паренхимы, содержит хлорофилл и занимается фотосинтезом. На этом крошечном гаметофите,



Обобщённый жизненный цикл споровых растений:

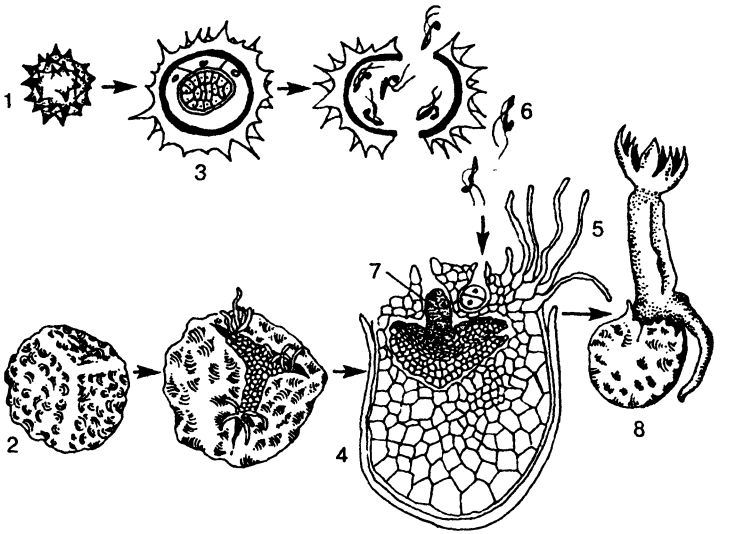
А — хвоща; Б — папоротника; В — плауна; 1 — споры; 2 — гаметофит (заросток); 3 — молодой спорофит

как и на крупном гаметофите мхов, формируются архегонии и антеридии; спермии находят архегоний, сливаются с яйцеклеткой, и возникшая диплоидная зигота начинает делиться, превращаясь в зародыш спорофита. Как и спермиям мхов, спермиям споровых, чтобы добраться до архегония, нужна вода. Передвигаться посуху они не умеют. Поначалу зародыш питается за счет гаметофита, но как только он отрастит корешок и первые, ещё крошечные листочки, гаметофит, выполнив свое дело, отмирает. Так обстоит дело почти у всех папоротников, у всех хвощей и у части плауновидных. Однако у двух групп плауновидных (селягинеллы и полушники) и у небольшой группы водных папоротни-

ков процесс идет несколько сложнее. У них формируются два типа спор — мегаспоры, дающие начало женским гаметофитам, на которых формируются архегонии, и микроспоры, из которых формируются гаметофиты исключительно с антеридиями.

КАК ПОЯВИЛОСЬ СЕМЯ

Как и почему возникла разноспоровость — тайна, покрытая глубочайшим мраком. Мало того что спермию необходим слой воды, чтобы добраться до архегония, так ему ещё приходится искать другой, неизвестно где находящийся женский гаметофит. Правда, архегонии выделяют особые вещества, и спермии ориентируются «по запаху». Но задачу это упрощает ненамного. Можно предположить, что в случае разноспоровости чаще будет происходит перекрестное оплодотворение, то есть зигота будет потомством двух разных особей. Перекрестное оплодотворение — штука, несомненно, выгодная: она способствует распространению полезных свойств и увеличивает изменчивость. Следовательно, гораздо шире возможность приспосабливаться к враждебному и непостоянному миру. Но двуполость гаметофита перекрестному оплодотворению никак не препятствует. Во всяком случае, не заметно, чтобы равноспоровые папоротники чувствовали себя хуже селягинелл или своих разноспоровых собратьев. Однако чем-то разноспоро-



Развитие гаметофита селягинеллы

1 — микроспора; 2 — мегаспора; 3 — мужской гаметофит; 4 — женский гаметофит; 5 — ризоиды; 6 — сперматозоиды; 7 — зародыш спорофита; 8 — прорастающий спорофит

вость очень удобна, или была удобна в древности. Среди споровых растений каменноугольного периода разноспоровсть была распространена очень широко.

Разноспоровыми были и девонские растения из отдела прогимноспермов — это название можно перевести как «предшественники голосеменных». Прогимноспермы — продвинутые потомки тримерофитов — отличались от своих предков хорошо выраженным вторичным ростом: это были весьма внушительные деревья с толщиной ствола около метра и высотой до трех десятков метров. Боковые побеги несли листья мегафиллного типа, как у папоротни-

ков (у всех плауновидных и хвощей тип листа — микрофилл). Во многих местах прогимноспермы не уступали по обилию плауновидным. Но самое интересное это не вторичный рост и не сложное строение листа. Многие прогимноспермы не выбрасывали созревшую мегаспору на произвол судьбы, а оставляли «при себе». В общем, резонно. Проблемы у спермиев при этом не увеличиваются, а мегаспору спорофит может, хотя бы отчасти, уберечь от всяческих случайностей. В частности, прикрыв её специальными выростами. Надо сказать, что к середине девонского периода, когда прогимноспермы начали экспериментировать с мегаспорой, суша уже была заселена разнообразными членистоногими, в частности примитивными бескрылыми насекомыми и клещами. Во второй половине девона насекомые начали осваивать полет. Значительная часть древних насекомых и клещей питалась как раз спорами, и эксперименты прогимноспермов были весьма своевременны.

Мегаспора некоторых прогимноспермов оставалась в спорангии, и стенка спорангия образовала защитную оболочку. Эта оболочка имеется и у современных семенных растений и носит название нуцеллуса. Мало того. На ножке, на которой сидел спорангий, начали формироваться длинные узкие чешуйки, прикрывающие спорангий, — купулы. Эти лопасти затем начинали срастаться, одевая спорангий одним или несколькими слоями ткани, а на кончике оставалось отверстие — микропиле.

Эта оболочка получила название интегумента, и у современных растений она образует семенную кожуру. Все вместе, мегаспора со своей оболочкой, спорангий и сросшиеся купулы, называется семязачатком. Семязачаток — это ещё не семя. Семенем он становится тогда, когда внутри оболочки мегаспоры разовьется женский гаметофит, когда яйцеклетка будет оплодотворена и когда сформируется зародыш. Зародыш у всех семенных растений на более или менее долгое время впадает «в спячку», и этим периодом покоя развитие семенных растений отличается от развития споровых. Так вот, вся эта сложная структура с покоящимся зародышем и называется семенем.

Настоящие семена были, вероятно, уже у некоторых прогимноспермов. Поначалу, вероятно, семязачатки опадали, оплодотворение происходило уже на земле (или в воде), и только там семязачаток превращался в семя. Но довольно быстро прогимноспермы «догадались», что семязачатку, остающемуся на ветке, гораздо легче «поймать» разносимые ветром микроспоры, чем лежащему на земле. От этих семенных прогимноспермов и произошли голосеменные растения. Первая их группа — семенные папоротники. Семенные папоротники (с настоящими папоротниками они не имеют ничего общего) были многочисленны во второй половине каменноугольного периода и, просуществовав сто пятьдесят миллионов лет, вымерли к концу юрского периода, во времена расцвета динозавров. А современные группы голосе-

Семенной папоротник:
А — общий вид; Б — семя на нижней стороне листа

менных, появившиеся в конце девона, процветают и в наши дни. К голосеменным относятся хорошо знакомые всем хвойные, саговники (не путать с саговыми пальмами), гинкго — красивое крупное дерево, единственный доживший до наших дней представитель некогда многочисленного племени, и гнетовые,

Гинкго двулопастный

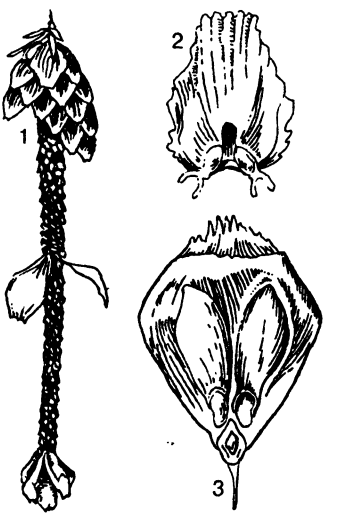
среди которых эфедра, с которой некоторые из вас могут быть хорошо знакомы. Эти кустарнички с побегами, напоминающими хвощ, растут, в частности, в степях и полупустынях на юге России и в горах Кавказа.

СЛОЖНАЯ ПРОЦЕДУРА

Образование семени — непростая штука, и занимает довольно много времени. Наверное, стоит в двух словах рассказать, как происходит размножение, скажем, у всем известной сосны. Орган размножения сосны — стробил, он же шишка, — представляет собой укороченный побег. На мужской шишке, напоминающей по

виду, скорее, сережку ивы, побег усажен видоизмененными листочками — микроспорофиллами. Каждый из них несет на основании два микроспорангия, в которых образуется множество микроспор. Расположение спорангия на видоизмененном листе — память о происхождении от прогимноспермов. И сами прогимноспермы, и их потомки (папоротники, семенные папоротники, семенные растения) несут спорангии на обычных или измененных листьях. Тогда как у плаунов и хвощей собрание спорангиев образуется прямо на побеге. Прикрывающие спорангии чешуйки (спорофиллы), когда они есть, ничего общего с листом не имеют.

Но вернемся к сосне. Женская шишка устроена иначе. Ось стробила здесь несет не листья, а видоизмененные расширенные боковые побеги — это и есть те деревянистые чешуи, которые первыми бросаются в глаза. На основании побега-чешуи сидят сверху два семязачатка. Мясистая оболочка мегаспорангия — нуцеллус, — содержит единственную крупную диплоидную клетку, которая называется материнской.

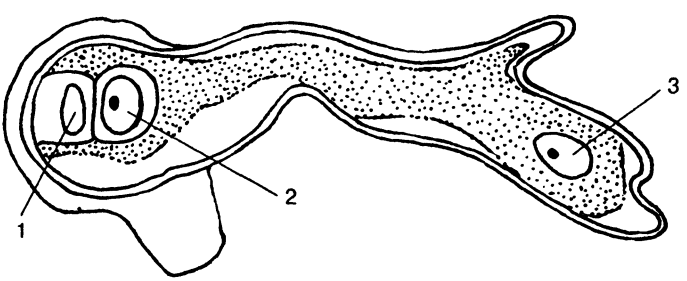


Женская шишка хвойного:

1 — стержень; 2 — чешуйки с семязачатками; 3 — созревшие семена

Пыльцевое зерно

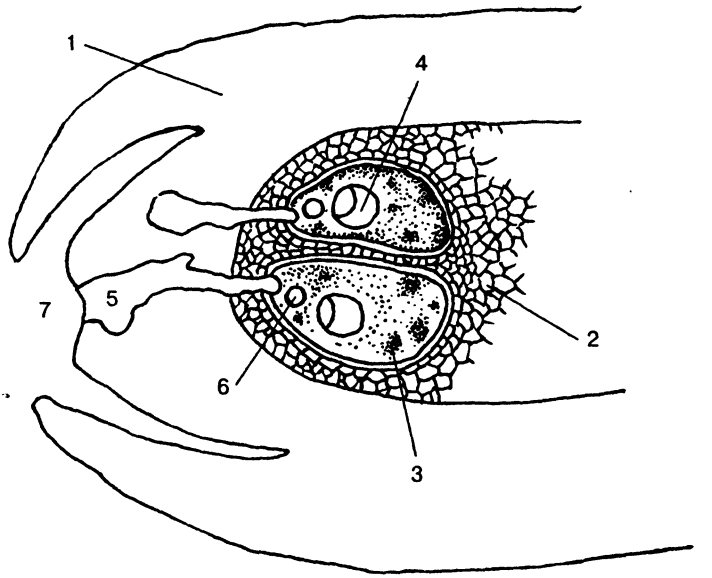
Микроспоры высыпаются весной, число их огромно, во время цветения хвойных поверхность лесных луж и озер бывает покрыта сплошным слоем пыльцы. Оболочка каждой микроспоры образует два воздушных мешка. Благодаря этим пузырям спора буквально плавает в воздухе и переносится ветром на дальние расстояния. Женские шишки в это время раздвигают чешуи, и в микропиле выделяется капля клейкой жидкости, к которой и прилипает занесенная ветром микроспора. Жидкость испаряется, микроспора автоматически втягивается в микропиле и попадает на нуцеллус. Чешуи шишки смыкаются, и все остальное происходит за закрытыми дверями. Микроспора содержит мужской гаметофит, состоящий всего из четырех клеток — одной генеративной, одной клетки, из которой развивается пыльцевая трубка, и ещё двух клеток (их называют



Образование пыльцевой трубки у сосны:
1 — проталлиальная клетка; 2 — генеративная клетка; 3 — ядро клетки пыльцевой трубки

проталлиальными), которые неизвестно для чего нужны. Попав на нуцеллус, спора прорастает — клетка пыльцевой трубки начинает вытягиваться, медленно пробираясь сквозь нуцеллус к материнской клеткой. Пока она это делает, проталлиальные клетки рассасываются, а генеративная клетка делится, образуя в итоге два спермия. Спермии оказываются внутри клетки пыльцевой трубки, так что, строго говоря, это не столько трубка, сколько «стержень», внутри которого находятся спермии. Вся эта процедура занимает около года.

Женская составляющая сосны тоже не особенно торопится. Только через несколько месяцев после того, как пыльцевая трубка начнет пробираться через нуцеллус, материнская клетка делится путем мейоза, давая начало четырем мегаспорам. Три из них «рассасываются» без следа, а одна начинает делиться, образуя женский гаметофит. Приблизительно через год после мейоза женский гаметофит формирует архегонии с яйцеклетками, и вскоре пыльцевая трубка наконец добирается до женского гаметофита. Она впрыскивает в яйцеклетку часть своей протоплазмы и обоих спермиев. Один счастливчик сливается с ядром яйцеклетки, другой гибнет. Оплодотворение происходит приблизительно через полтора года после того, как микроспора прилипла к капельке, выделенной на микропиле. Ещё около полугода уходит на формирование зародыша. «Готовый» зародыш являет собой ось, один конец которой — это эмбриональный корешок с верхушечной



Оплодотворение у сосны:

1 — покров семязачатка; 2 — мегагаметофит; 3 — архегонии; 4 — яйцеклетка; 5 — пыльцевая трубка; 6 — спермий; 7 — микропиле

меристемой и корневым чехликом, другой — эмбриональный побег (гипокотиль), тоже с верхушечной меристемой и эмбриональными листочками — семядолями. У сосны семядолей восемь, и в первый этап жизни проростка они будут функционировать как листья. Зародыш окружен тканью гаметофита, который содержит запас питательных веществ. Всё это окружено интегументом, который к концу формирования зародыша превращается в жесткую семенную кожуру. Ткань нуцеллуса почти целиком расходуется на формирование зародыша. Так что семя — это содружество трех поколе-

ний: диплоидный родительский спорофит образует защитную кожуру, следующее поколение — гаплоидный женский гаметофит — содержит запасы пищи для третьего поколения, которое представлено диплоидным зародышем новорожденного спорофита.

СЛЕДУЮЩИЙ ШАГ

Голосеменные растения появились около трехсот пятидесяти миллионов лет назад, в конце девонского периода. И только через двести с хвостиком миллионов лет, в начале мелового периода, растения сделали следующий рывок вперед — появились покрытосеменные. Этот эволюционный прорыв тесно связан с эволюцией насекомых. Насекомые с удовольствием посещали органы размножения растений уже в карбоне. Они высасывали семязачатки, ели споры и, попутно, переносили микроспоры с одного растения на другое просто потому, что некоторое количество микроспор неизбежно прилипало к их телу. Бо́льшинство растений боролось с этими нахлебниками изо всех сил, главным образом отращивая различные защитные приспособления. Однако некоторые группы голосеменных сумели оценить ту пользу, которую приносили насекомые, перенося микроспоры с одного стробила на другой и от одного растения к другому. Поскольку насекомое вынуждено, хочет оно того или нет, питаться и тем самым перебираться с одного стробила

на другой, оно переносит микроспоры гораздо надежней, чем вода или ветер. Некоторые голосеменные «приручили» насекомых, постаравшись максимально использовать преимущества такого способа переноса микроспор и свести к минимуму вред.

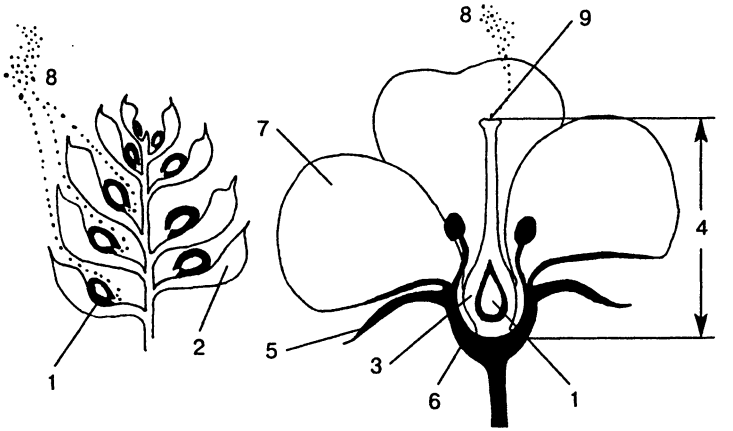
Из голосеменных дальше всего по пути использования насекомых продвинулись беннетиты, которые, вероятно, и были предками первых покрытосеменных. Приручение насекомых ставило перед беннетитами две основные задачи — во-первых, нужно было максимально защитить от посетителей драгоценные семязачатки и микроспоры (пыльцу). Одновременно нужно было как-то привлечь насекомых, заставить их посещать стробилы не от случая к случаю, а регулярно. Одно противоречит другому и проблема кажется неразрешимой. Однако беннетиты вывернулись. Стробил большинства беннетитовых нес одновременно и мега-, и микроспорангии, то есть был двуполым. Ось стробила (стебель) на верхушке была расширена и имела форму конуса (цветоложе). Поверхность конуса была плотно усажена семязачатками, которые беннетиты надежно прикрыли специально отрастающими листоподобными чешуйками. Ниже шло широкое кольцо тонких длинных перистых листочков, микроспорофиллов, несущих микроспорангии. И — главная фишка беннетитов — на поверхности цветоложа между основаниями микроспорофиллов располагались особые органы, до которых ни одно другое растение «не додумалось» — нектар-

ники. Все остальное не было новостью в мире растений, но нектарники, выделяющие питательную сахаристую жидкость, одним ударом решили несколько проблем. Они отвлекли насекомых от семязачатков и пыльцы и заставили их специально разыскивать стробилы с таким замечательным источником пищи. Вдобавок чешуйки, микроспорофиллы и само цветоложе почти наверняка были ярко окрашены, чтобы издали привлекать опылителей и вдобавок, очень может быть, испускали привлекательный запах, как это проделывают цветы многих современных покрытосеменных. Отсюда до покрытосеменных оставался один шаг, хотя шаг этот было сделать очень непросто, на это беннетитам, появившимся в триасе, понадобилось более ста миллионов лет.

Первой группой насекомых, приученных растениями и превращенных в профессиональных опылителей, были некоторые жуки. Жук — создание солидное и прикрывать семязачатки требовалось не только для того, чтобы их не съели, но и для того, чтобы неповоротливый переносчик пыльцы не повредил нежный орган, просто топчась по нему в поисках нектарников.

ВЕРХ СОВЕРШЕНСТВА

В основе жизненной стратегии покрытосеменных лежит три принципа: максимальная защита семян, максимальное обеспечение новорожденных запасами пищи, максимальное использование животных для размножения и



Строение шишки и цветка:

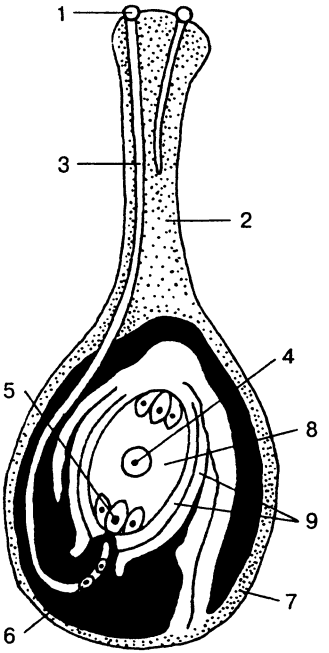
1 — семязачатки; 2 — чешуи шишки; 3 — завязь; 4 — пестик; 5 — чашечка; 6 — цветоложе; 7 — венчик; 8 — пыльца; 9 — рыльце

расселения. Все это обеспечивается уникальным органом размножения покрытосеменных — цветком, и потому этот отдел растительного царства называют ещё цветковыми растениями.

Цветок — это укороченный побег. Верхняя часть побега расширена и называется цветоложем. На самой верхушке побега сидят семязачатки, один или несколько, одетые поверх интегумента толстым слоем ткани и полностью изолированные от внешнего мира. Сделано это было просто — листик, на котором располагались мегаспорангии, свернулся в трубочку, так что семязачатки оказались внутри, а затем края листика срослись. Этот мясистый листик называется плодолистиком, а то, что получается в результате его сворачивания и сраста-

ния, — пестиком. Нижняя часть пестика называется завязью, верхняя — рыльцем. Все вместе, с семяпочками, — гинецеем. Гинецей может состоять из нескольких свернутых плодолистиков, которые срастаются полностью или частично, сохраняя в последнем случае несколько рылец. Вокруг гинецея сидят в один или несколько рядов тычинки — бывшие микроспорофиллы с микроспорангиями. В основании тычинок расположены нектарники. Следующий круг — лепестки, сохранившие, в общем, облик нормального листа. Обычно лепестки ярко окрашены. Следующий круг — почти обычные листья, чашелистики, иногда зеленые, но у некоторых растений ярко окрашенные, как и лепестки. Это принципиальная схема, которая может изменяться, давая огромное количество вариантов строения цветка.

Как и у голосеменных, в нуцеллусе (мегаспорангии) из материнской клетки путем мейотического деления образуется четыре гаплоидные мегаспоры, три из которых рассасываются. В оставшейся трижды происходит митоз, но делятся только ядра, так что возникает клетка с восемью гаплоидными ядрами. Так, кстати, начинается формирование женского гаметофита и у многих голосеменных. Затем из этой клетки образуется семь. Три из них находятся около микропиле, одна клетка из этих трех и является собственно яйцеклеткой, а две другие носят название синергид. Три клетки расположены у «заднего» конца гаметофита. И одна крупная клетка, с двумя



Пестик цветковых:

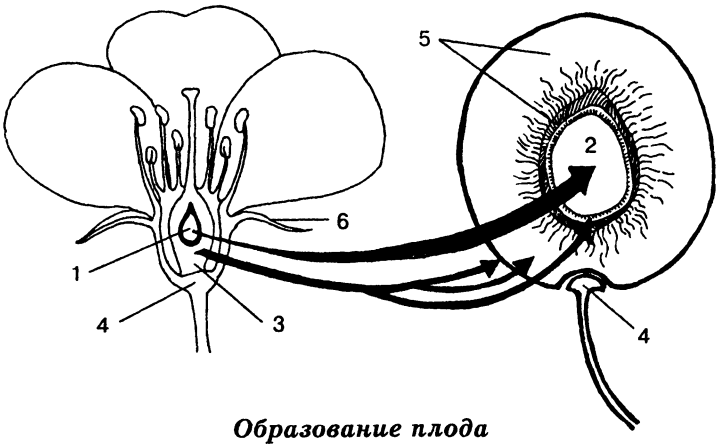
1 — пыльцевое зерно; 2 — рыльце; 3 — пыльцевая трубка; 4 — центральное ядро; 5 — яйцеклетка; 6 — спермии; 7 — завязь; 8 — семязачаток; 9 — покровы семязачатка

гаплоидными ядрами, расположена в центре. Это семиклеточное «существо» и есть женский гаметофит покрытосеменных.

Пыльца улавливается рыльцем гинецея, и пыльцевая трубка вынуждена пробираться к женскому гаметофиту не только через ткань нуцеллуса, как у голосеменных. Прежде ей приходится прорасти сквозь ткань плодолистика. Мужской гаметофит у покрытосеменных состоит всего из трех клеток — клетки пыльцевой трубки и двух спермиев, но со своим делом он справляется вполне успешно. Пыльцевая трубка, добравшись до женского гаметофита через микропиле, вступает в контакт не с яйцеклеткой, а с одной из синергид, куда и «впрыскиваются» оба спермия. А дальше начинается нечто, совсем непохожее на оплодотворение всех остальных растений (и не только растений). Один из спермиев проникает в яйцеклетку и, сливаясь с ней, образует, как и положено,

диплоидную зиготу. А вот другой, вместо того чтобы спокойно отмереть, проникает в центральную двуядерную клетку. Здесь из ядра спермия и двух собственных ядер этой клетки возникает триплоидное ядро. Из зиготы, как и положено, возникает зародыш. А триплоидная клетка дает начало собой ткани — эндосперму. Эндосперм содержит запас питательных веществ и обеспечивает развивающийся зародыш, а часто и молодое растение, в течение некоторого времени после прорастания семени. Может превращаться в запасную ткань и мясистый нуцеллус. Эта ткань называется перисперм. В семенах некоторых растений есть и то, и другое, а некоторые расходуют и ткани нуцеллуса, и эндосперм, ещё в ходе формирования зародыша, в ходе созревания. Фактически эти растения «перекачивают» запасы в тело зародыша, который откладывает их в семядолях. Это приблизительно то же самое, что вынуть припасы из рюкзака и распихать их по карманам. Зачем это нужно — неясно. Но, наверное, зачем-то нужно, поскольку таких чудаков среди покрытосеменных множество, например хорошо известный всем горох и другие бобовые.

Ещё одна штука, которая есть только у покрытосеменных, — плод. Настоящий плод развивается из плодолистика (или плодолистиков, если гинецей состоит из нескольких). Плод может быть сочным, мясистым, как у смородины, помидора или арбуза. Может быть сочным снаружи, а внутренняя часть



Образование плода из цветка у вишни:
1 — семязачатки; 2 — семя; 3 — завязь; 4 — цветоложе; 5 — околоплодник; 6 — чашелистики

превращаться в твердую скорлупу, как у сливы, абрикоса или каштана. В твердую скорлупу может превращаться вся ткань плодолистиков, как у желудя, лесного ореха или подсолнуха. Плодолистик может стать пленчатым, плотно прирастающим к семени, как у злаков. Но, так или иначе, плод всегда присутствует, и эта дополнительная оболочка, окружающая семя, — ещё одна особенность покрытосеменных. Именно она и отражена в их названии.

НЕРАЗРЫВНАЯ СВЯЗЬ

Покрытосеменные возникли в союзе с насекомыми. Этот союз дал им преимущества, которые позволили покрытосеменным расселиться по всему свету и занять господствующее по-

ложение в растительном царстве. В отделе покрытосеменных около четверти миллиона видов — в несколько раз больше, чем всех остальных растений, вместе взятых. Хотя среди покрытосеменных полно ренегатов, вернувшихся к опылению ветром, но подавляющее большинство опыляется насекомыми. Услугами ветра пользуются, главным образом, те растения, которые растут густыми скоплениями и при этом составляют верхний ярус — злаки в степях, многие деревья, образующие «крышу» лесного полога. В таких условиях действительно имеет смысл пожадничать и положиться на ветер, который делает все бесплатно. Но большинство покрытосеменных продолжает безропотно подкармливать своих опылителей. В самом деле, насекомое разыщет своего кормильца, даже если он вырос вдали от своих родителей, в зарослях других растений или вообще в глубоком ущелье, куда никакой ветер не занесет пыльцу родичей из соседнего ущелья.

Опыление насекомыми, несомненно, замечательная вещь. Однако это только начало. Чтобы использовать открывшуюся возможность на все сто, нужно придумать способ десантировать семена на новые места, и чем дальше, тем лучше. В общем, конечно, можно распространять семена с помощью воды и ветра. Голосеменные, да и некоторые покрытосеменные так и делают. Но животные могут распространять семена гораздо лучше, надо только их уговорить. И растения употребляют испытанную приманку — пищу. Вкусная, сочная мякоть плодов

служит вознаграждением птицам и зверям за посевные работы. Многие семена без вреда проходят через кишечник и оказываются снаружи уже далеко, иногда очень далеко, от родительского растения. Так расселяется, в частности, всем известные вишня, брусника, черника. Мало того что семя унесли на новое место, так ещё и удобрения ему подкинули. Многие семена прорастают, пройдя через кишечник, гораздо лучше, а для прорастания некоторых это вообще необходимая процедура. Впрочем, многие растения предпочитают распространяться на халяву. Огромное множество таких халявщиков имеют семена со специальными цеплялками — тот же репейник или череда. Надо сказать, что честь этого изобретения принадлежит голосеменным. Первые семена с цеплялками появились более ста пятидесяти миллионов лет назад, когда о покрытосеменных ещё никто и не слышал, а вот покрытые шерстью млекопитающие уже шныряли под ногами динозавров во множестве. Но только с появлением покрытосеменных этот способ транспортировки семян получил широкое распространение. Сейчас на Земле есть ландшафты, где большинство видов растений имеют семена, приспособленные к безбилетным поездкам на млекопитающих и птицах. Так что союз покрытосеменных растений с животными, возникший на заре их существования, не только не ослабевает со временем, но становится все более тесным и разносторонним.

ЖИВОТНЫЕ

Особый путь
Плавающий желудок
На полпути
Решительный шаг
Носители прогресса
Три ветви
Удачная находка
Аннелиды
Все из ничего
Бронированный червяк
Вторичноротые
Прародители хордовых
Ланцетник
Позвоночные
Выход на сушу
Шиворот-навыворот
Между двух стульев
Все мы вышли из яйца
Что дальше?
Птицы
Питающие молоком
Вершина эволюции

ОСОБЫЙ ПУТЬ

Животные — очень древняя группа, они не моложе грибов и, во всяком случае, намного старше растений. Первые следы жизнедеятельности животных обнаружены в отложениях периода, который геологи называют рифеем, и имеют возраст более миллиарда лет. Это следы ползания, отпечатавшиеся в иле, и окаменевшие экскременты — копролиты. Древние животные рифея, вероятно, имели червеобразную форму тела и питались илом, как многие современные черви. А в породах следующего периода, венда, имеющих возраст около шестисот пятидесяти миллионов лет, уже содержатся остатки богатой и разнообразной фауны примитивных беспозвоночных.

Однако прежде чем начинать рассказ о животных, неплохо бы, наверное, понять, что такое животное, чем медуза или мышь отличаются от груздя или сосны и где лежат границы между царствами. Растения — это потомки тех протист, которые некогда вступили в союз с фотосинтезирующими бактериями. Для растений источник углерода (а он основа всех органических соединений) — минеральное вещество, углекислый газ. Грибы и животные для своей биохимической кухни используют только углерод, связанный в органических соединениях, им для стряпни нужны «полуфабрикаты». Грибы выделяют пищеварительные ферменты в окружающую среду, переваривают то, что оказалось рядом, и всасывают

получившийся питательный раствор всей поверхностью мицелия. А животные захватывают пищевые частицы и переваривают их внутри своего тела. Кроме этого, растения, грибы и животные отличаются строением своих клеток, в частности строением клеточных оболочек. Весьма важное отличие животных от представителей двух других высших царств — тип размножения и характер роста. Мейоз у животных ведет непосредственно к образованию гаплоидных гамет, особое поколение гаплоидных организмов, формирующее гаметы, у них отсутствует, и в этом они отличаются от растений. Зигота у животных делится путем митоза, давая начало диплоидному организму, и в этом их отличие от гаплоидных грибов с их зиготической редукцией. Способность к делению сохраняется у большинства клеток животного организма, поэтому животное растет «всем телом», в отличие от растений и грибов, у которых способность к росту сосредоточена в отдельных частях организма.

Однако отличие животных от представителей других высших царств не только и даже не столько в этом. Растения и грибы всю свою историю развивали технику питания и размножения. Практически все тело растений и грибов состоит из тканей, которые обеспечивают производство, распределение и защиту питательных веществ и тканей, обеспечивающих воспроизводство. А эволюция животных пошла по особому пути, на протяжении миллиарда лет они развивали способности двигаться. И только у

животных есть специальные ткани, обеспечивающие движение, и специальные ткани, этим движением управляющие. И эти ткани составляют у продвинутых животных около половины веса тела. Речь, как вы, наверное, уже догадались, идет о мышцах и нервных тканях.

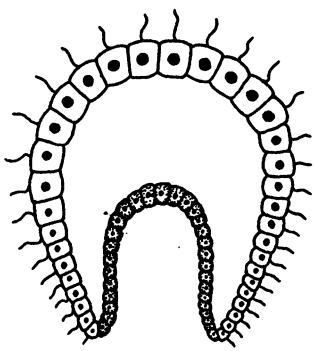
Возможность передвигаться по своему желанию — штука замечательная, никто не спорит. От опасности можно укрыться или убежать, можно поискать чего вкусненького, не дожидаясь, пока еду принесет вам ветром или течением. Но чтобы все это проделывать, вам нужно как-то ориентироваться в окружающем мире. И практически одновременно с органами движения у животных появляются органы чувств. Однако уметь получать сигналы из внешнего мира — этого для процветания ещё недостаточно. Ваши глаза и уши мигом обнаружат выскочившую из-за угла злую собаку. Только что в этом толку, ведь нужно ещё как-то сообщить об этом открытии ногам, и побыстрее. И у животных появляются особые клетки, передающие информацию от органов чувств органам движения. Возникает нервная система.

Нервная система, даже очень простая, умеет не только передавать информацию, но и хранить её. Это значит, что у животного появляется память и оно способно учиться. Постепенно нервная система становится сложней, она уже не только передает и хранит информацию, но обрабатывает её и сопоставляет. Животное начинает «размышлять». Для чего все это нужно? Только для одного — чтобы движения

животного, его поведение, достигали цели чаще, лучше и быстрее. Так что и игра в подкидного дурака, и теория относительности, и изобретение каменного топора, и появление компьютеров — все это результат того, что нашим далеким предкам не сиделось на месте и они решали свои проблемы путем движения.

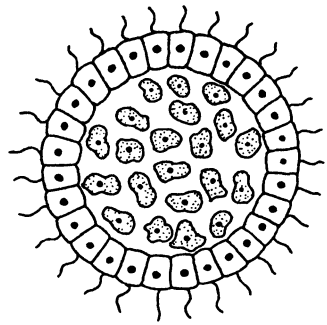
ПЛАВАЮЩИЙ ЖЕЛУДОК

Всякое животное является, в конце концов, двигающимся пищеварительным мешком. Существует две основные теории, объясняющие происхождение такой невиданной в других царствах конструкции. Одна, основоположником которой был Эрнст Геккель, считает, что предком животных была сплющенная пустотелая колония клеток. Одна половина полого шарика впячивалась в другую таким образом, что получался двухслойный мешок (или, если хотите, бокал). Клетки наружного слоя дружно гребли жгутиками, за счет чего существо и передвигалось. Клетки, выстилавшие внутреннюю полость «бокала», выделяли пищеварительные ферменты, и попавшие в этот плавающий желудок бактерии и одноклеточные протисты благополучно там



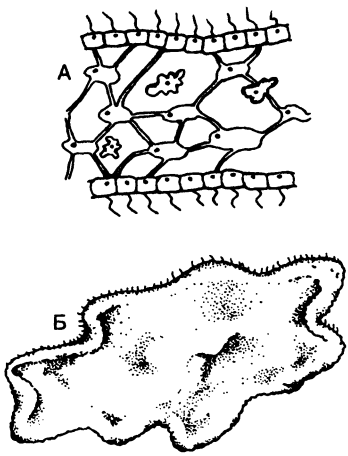
Гастрея

переваривались. Этот «бокал», получивший название гастреи, и был, по Геккелю, предком всех животных. Вторая теория предложена Ильей Ильичом Мечниковым. По его мнению, предком животных тоже была шаровидная или слегка сплющенная колония простейших, но не пустотелая. Покровные клетки несли жгутики и отвечали за передвижение. А внутренние клетки отвечали за переваривание пищи, которую они захватывали через отверстия в слое наружных клеток и переваривали внутри себя, подобно амебам. Это воображаемое создание получило название фагоцителлы. Пищеварительную полость фагоцителла заполучила позже, она возникла как пространство между внутренними клетками.



Фагоцителла

Через пару десятилетий после появления этих теорий немецкий зоолог Фридрих Шульце обнаружил в собственном аквариуме странное существо. Полупрозрачная плоская бляшка, размером со шляпку гвоздя, медленно ползала по камешкам и листьям подводных растений. Существо было положено под микроскоп и выяснилось, что оно покрыто плотным слоем клеток, несущих жгутики, наподобие жгутиков одноклеточных. Двигалось существо благодаря движению этих жгутиков. Внутри находилась полужидкая масса, в которой



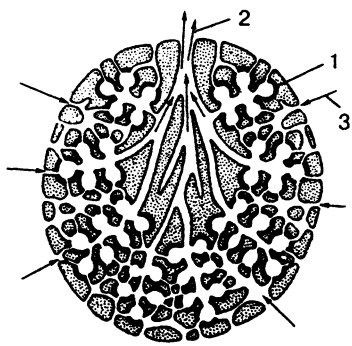
Трихоплакс:
А — общий вид (сильно увеличено); Б — поперечный срез

лежали вытянутые клетки, соединенные друг с другом и с клетками покровов отростками. Эта сеть выполняла роль скелета. Между отростками передвигались клетки, похожие на амеб. Существо получило название трихоплакс. Позже выяснилось, что создание это не столь уж и редкое — это обычный обитатель мелководий у европейского побережья Атлантики и Средиземного моря. Питается трихоплакс двумя способами. Наползая на скопления одноклеточных, он выделяет клетками «брюха» пищеварительные ферменты. Полупереваренная масса всасывается клетками брюшного слоя. Наполненные питательными веществами, эти клетки теряют жгутик и уходят с поверхности в толщу тела, где спокойно доводят пищеварение до конца. Но одним этим способом питания трихоплакс не ограничивается. Если пищевые частицы попадают на спинную сторону трихоплакса, то клетки «скелета», подтягиваясь на своих отростках, приближаются изнутри к спине и через маленькие отверстия между спинными жгутиковыми клетками захватывают эти частицы, после чего возвраща-

ются на свое место. Трихоплакс с брюшной стороны ведет себя подобно гастрее, а со стороны спины он — самая настоящая фагоцителла. Очень может быть, что нашими предками были какие-то древние трихоплаксы или похожие на них существа.

НА ПОЛПУТИ

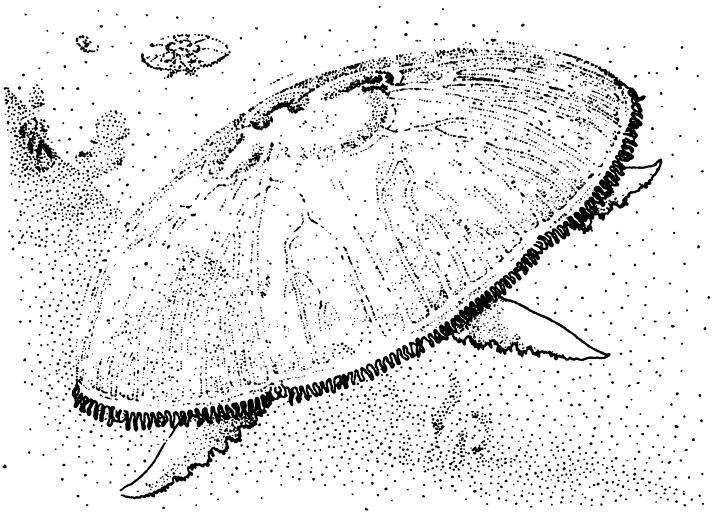
Есть группа многоклеточных созданий, стоящих на полпути от царства протист к царству животных. Это губки. Самые простые губки напоминают по форме бокал или мешок с двойной стенкой. Внутренняя поверхность «бокала» выстлана слоем клеток, несущих жгутики, которые находятся в непрестанном движении, а наружная образована плотным слоем плоских клеток без жгутиков. Вообще, губка очень напоминает трихоплакса с «облысевшим» брюхом, вдавленного спиной внутрь, а брюхом наружу. В толще тела у губки, между наружной и внутренними стенками, находятся очень похожие «скелетные» и амебовидные клетки. Жгутики гонят воду к выходу из «бокала». А посту-



Строение губки:
1 — слой жгутиковых клеток; 2 — устье; 3 — направление тока воды

пает она внутрь через канальцы, которые пронизывают стенки «бокала» насквозь, так что это скорее не «бокал», а «сито». Вода фильтруется через губку постоянно, без перерывов на сон и отдых. Все мелкие частицы, приносимые током воды, захватываются жгутиковыми клетками, которые передают их живущим в глубине стенок «амебам». Съедобные частицы «амебы» переваривают (и каким-то образом делятся питательными веществами с остальными клетками), а несъедобные частички и непереваренные остатки выбрасывают наружу. Двигаться губки не могут, не могут они и сокращать свое тело, только некоторые способны немного и очень медленно сокращать устье «бокала». На какие-либо внешние воздействия губки никак не реагируют. Вы можете тыкать губку иглой, бить её электрическом током, посыпать солью или травить кислотой — никакого ответа вы не дождетесь, губка останется безучастна, как растение.

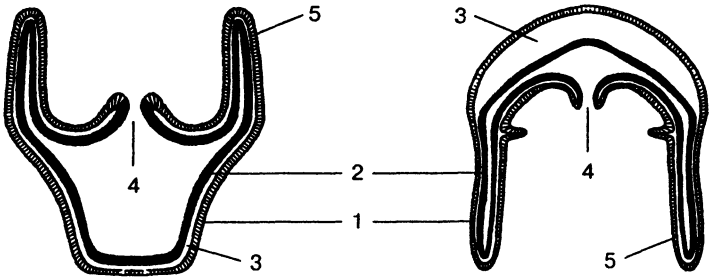
Возникнув чуть ли не миллиард лет назад, губки так губками и остались. Но губки не единственная попытка древних трихоплаксов найти свое место в жизни. Какие-то другие трихоплаксы или кто-то, очень на них похожий, начали развивать в первую очередь способность к сокращению тела. Быть может, наползая на колонию протист, такой «трихоплакс» сворачивался клубком, охватывая колонию своей брюшной стороной, и переваривал её в образовавшемся мешке. Сокращение тела обеспечивали особые клетки — мышечные.



Сцифоидная медуза

Появление мышечных клеток позволило отрастить щупальца и использовать их для захвата крупной добычи. И с этого плацдарма, создав и освоив новые механизмы движения, животные пустились на завоевание мира.

Как точно все происходило — неизвестно. И быть может, мы никогда этого не узнаем. Но результат нам известен. На свет появились кишечнополостные, они же книдарии — первые существа, обладающие главными признаками животных. Пресноводная гидра, актиния, медуза и коралловый полип — все это кишечнополостные. Все они хищники, и все живут в воде. Ни сухопутных, ни травоядных кишечнополостных нет. На поверхностный взгляд, книдарии похожи на губок, в основе их строения тоже лежит двойной мешок. Но есть между ними



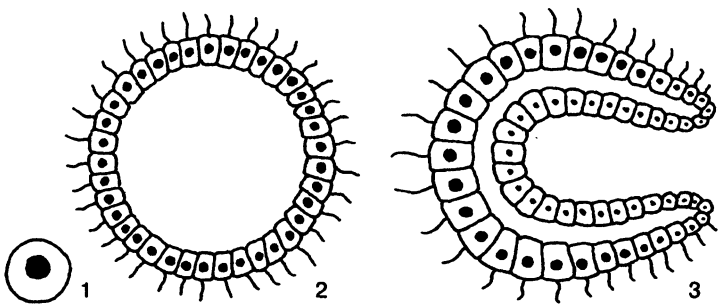
Строение полипа (А) и медузы (Б):
1 — наружный слой клеток; 2 — внутренний слой клеток; 3 — мезоглея (неклеточное студенистое вещество); 4 — ротовое отверстие; 5 — щупальца

одна существенная разница. Внутренность этого мешка является настоящим желудком. Сюда клетки внутреннего слоя выделяют пищеварительные ферменты. И хотя у многих книдарий часть этих клеток не утеряла способности к захвату мелких пищевых частиц, но этот способ питания стоит уже на десятом месте. Как и губок, книдарий можно представить в виде трихоплакса, только свернувшегося брюшной стороной внутрь, а «облысевшей» спиной наружу.

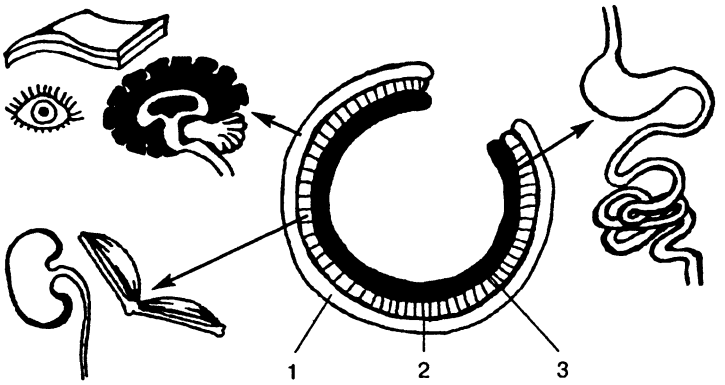
Вполне вероятно, что у губок и книдарий был общий предок, очень похожий на трихоплакса. В таком случае книдарии — это «братья» или, скорее, «племянники» губок, только «вывернутые» на другую сторону. Книдарии устроены значительно сложнее губок. У них уже имеется простая, но вполне настоящая нервная система, мышечные ткани и органы чувств. Они захватывают пищу подвижными щупальцами, реагируют на прикосновения, на свет, на вкус и запах добычи.

РЕШИТЕЛЬНЫЙ ШАГ

Всякое животное на самой первой стадии своего развития мало отличается от одноклеточной протисты. Это единственная клетка, зигота, которая получается в результате слияния двух половых клеток — гамет. Зигота начинает делиться, и в результате получается комок клеток, называемый биологами бластулой. Следующий шаг — превращение бластулы в гаструлу. Гаструла — двухслойный мешок, очень напоминающий гастрею Геккеля. Развитие губок и книдарий останавливается, по сути, на стадии гаструлы — двойного мешка. Все их ткани образуются из двух слоев зародышевых клеток: наружного и внутреннего. Потомки кишечнополостных устроены гораздо сложнее, и формирование всех их тканей и органов потребовало образования у зародыша третьего слоя. И если основа конструкции кишечнополостных — двойной мешок, то все продвинутые животные — мешок тройной.



Ранние стадия развития зародыша животных:
1 — зигота; 2 — бластула; 3 — гаструла



Зародышевые листки и органы, развивающиеся из них:
1 — эктодерма; 2 — мезодерма; 3 — энтодерма

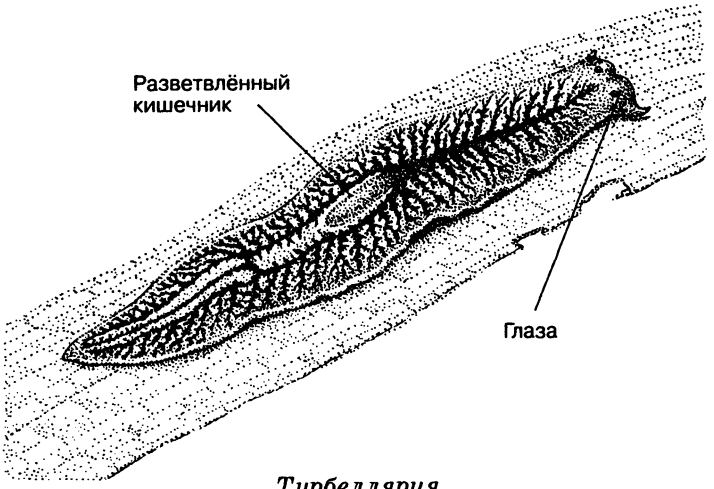
Третий слой формируется на последней стадии гаструляции. Несколько клеток из «горловины» двухслойного мешка буквально вползают между внешним и внутренним слоями, образуя средний, третий слой. Каждый слой формирует свои системы органов и делает это в раз и навсегда установленном порядке. Из наружного слоя образуются покровы тела и «система управления» — нервная система и органы чувств. Этот слой называется эктодермой. Из внутреннего слоя, энтодермы, образуется все, что прямо связано с пищеварением — внутренняя выстилка пищеварительного тракта (то есть слой клеток, выделяющий пищеварительные ферменты и всасывающий пищевой раствор) и пищеварительные железы, в частности — печень. А из среднего слоя, мезодермы, формируются мышцы, кровь и соединительная ткань (попросту — хрящи и

сухожилия). Только надо иметь в виду, что эта схема, вошедшая во все учебники и энциклопедии, всего лишь схема. На самом деле все обстоит гораздо сложнее. Например, часть соединительной ткани у позвоночных формируется не из мезодермы, а из ткани нервной, то есть из эктодермы. Случаев «нетипичного» формирования тканей в разных группах животных сколько угодно. Да и с закладкой слоев все, как оказалось, не так просто.

НОСИТЕЛИ ПРОГРЕССА

Самые примитивные из трехслойных животных относятся к типу плоских червей. Плоские черви не пользуются симпатией подавляющего большинства человечества. Их упоминание вызывает в воображении прежде всего таких, мягко говоря, малоприятных паразитов, как свиной солитер, эхинококк или широкий лентец. Действительно, ныне паразиты составляют большинство плоских червей. Но есть среди них обширный класс существ, стойко сохраняющих приверженность свободному образу жизни. Имя этих существ — турбеллярии. Это самая древняя и самая примитивная группа из всех «трехслойных» животных.

Человек, впервые увидевший иную турбеллярию, вряд ли назовет её червем. Плоский овальный листок с фестончатыми краями, ярко-желтый, зеленый или черно-красный, медленно ползущий по подводным камням или плывущий над самым дном, волнообразно



Турбеллярия

изгибая края. Правда, в большинстве случаев, чтобы рассмотреть турбеллярию, нужно хорошее увеличительное стекло. Её размер редко достигает пары сантиметров, чаще всего несколько миллиметров, а то и до миллиметра не дотягивают эти забавные существа из обширного типа плоских червей. Среди турбеллярий есть и создания, напоминающие обрезок ремня, есть плоские бляшки, ширина которых больше длины, встречаются и «нормальные», округлые червячки.

Если смотреть поверхностным взглядом, то турбеллярии от книдарий недалеко ушли. Перед нами, строго говоря, все тот же «мешок». Кишечная полость у турбеллярий заканчивается тупиком, заднепроходного отверстия у них ещё нет. Но и кишка, и все прочие внутренние органы лежат в рыхлой массе особых мезодермальных клеток — паренхиме. Хотя тело большинства турбеллярий покрыто ресничками, как у инфузорий, и с помощью этих

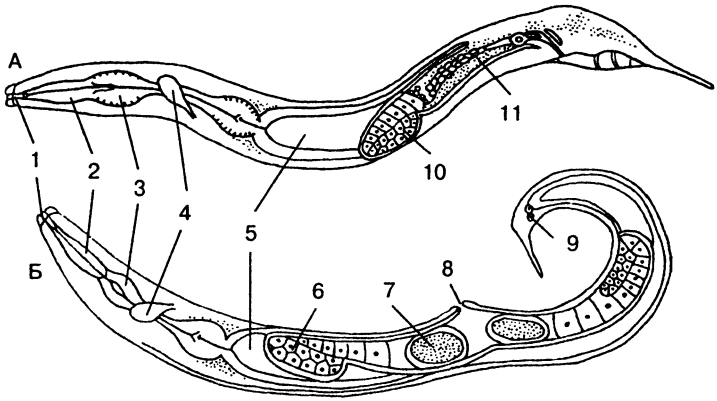
ресничек они зачастую и передвигаются, но все они имеют и прекрасно развитые мышечные волокна, прямо под кожей покрывающие тело в три плотных слоя. Изгибая широкое плоское тело или только его края, турбеллярии активно ползают по дну и плавают, а некоторые и ползают по суше. В составе нервной системы у них уже есть крупное скопление нервных клеток — головной ганглий, своего рода мозг. У турбеллярий есть глаза, правда, простенькие. Вкус, запах и прикосновения они воспринимают уже не всей поверхностью тела, как книдарии, а специальными органами. Устройство и расположение этих органов таково, что турбеллярия способна довольно точно определять силу и источник «приятных» или «неприятных» сигналов, а «мозг» способен обрабатывать довольно сложную информацию. Разнообразие двигательных реакций и их целесообразность у турбеллярий намного выше, чем у актинии или медузы.

Давайте попробуем вообразить себя на месте Господа Бога и прикинуть, как можно улучшить конструкцию турбеллярий. Перебрав различные варианты, мы придем к выводу, что усовершенствовать органы чувств, мозг и органы движения не удастся, пока мы не наладим питание этих структур. Увеличение эффективности любой биологической системы требует дополнительной энергии, оперативного переключения энергетических потоков и своевременного удаления биохимических отходов, которые тормозят синтез и снижают КПД

клеток и тканей. И вот как раз система распределения пищи между органами и удаление отходов в конструкции турбеллярий — узкое место. У плоских червей пространство между кишкой и кожей заполнено рыхлой массой клеток — паренхимой. Питательные вещества и кислород распространяются по телу очень примитивным путем — клетки паренхимы передают вещества друг другу. Такая эстафета, идущая через клеточные мембраны, дело медленное. По сути, транспорт веществ у турбеллярий устроен не лучше, чем у многоклеточных протист, и гораздо хуже, чем у сосудистых растений, и даже хуже, чем у грибов. Турбеллярии попробовали решить проблему тремя разными путями, в результате чего возникли три ветви развития — ветвь круглых червей, ветвь немертин и ветвь червей кольчатых.

ТРИ ВЕТВИ

У круглых червей вместо паренхимы, вмещающей внутренние органы, — пустое место, заполненное жидкостью. И именно это «пустое место» и называется полостью тела, а вовсе не полость кишечника, как многие считают. Кстати, у круглых червей сформировался сквозной кишечник, и непереваренные остатки они выбрасывают из кишки через заднепроходное отверстие, а не «выплевывают» через рот. Питательные вещества, всосанные кишкой, выделяются в полостную жидкость,



Строение нематод (А — самец; Б — самка):

1 — ротовая полость; 2 — пищевод; 3 — бульбусы пищевода; 4 — окологлоточное нервное кольцо; 5 — средняя кишка; 6 — яичник; 7 — яйцо в матке; 8 — половое отверстие; 9 — анальное отверстие; 10 — семенник; 11 — семяпровод

а уже из нее её черпают внутренние органы. Полостная жидкость разносит внутренним органам кислород, который «впитывается» через поверхность тела (особых органов дыхания ещё нет). И в эту же жидкость органы и ткани выделяют продукты обмена. Эти продукты потом выводятся специальными системами клеток умеющих фильтровать полостную жидкость и отделять нужные и полезные вещества от ненужных и вредных. Нервная система и органы чувств у круглых червей несколько сложнее, чем у турбеллярий, но не намного. Тело покрыто плотным многослойным веществом — кутикулой, — которая прикрывает нежную «кожу» червя. Мускулистая глотка вооружена гребнями и шипами, которые действуют подобно челюстям и зубам. А у некоторых в

глубине глотки скрывается твердое лезвие, которое особыми мышцами выдвигается наружу, протыкая покровы жертвы. Самая многочисленная группа круглых червей — нематоды. Племя нематод заселило всю Землю. Они живут в морях и океанах, в пресных водах, в почвах всех континентов, в тканях всех без исключения видов и пород многоклеточных организмов. Паразитов среди них предостаточно, например всем известные аскариды. Но не меньше среди нематод свободных хищников. Есть и всеядные нематоды, питающиеся и бактериями, и протистами, и гифами грибов, и просто разлагающейся органикой. Одни захватывают пищевые частицы «челюстями» и переваривают их в кишечнике. Другие — «выплевывают» капельку пищеварительного фермента и всасывают потом полупереварившуюся массу. У нематод, питающихся на растениях, у многих хищных и паразитических нематод пищеварительный фермент «выплевывается» внутрь жертвы, покровы которой предварительно пробиваются стилетом.

УДАЧНАЯ НАХОДКА

Целом, или вторичная полость тела, стоит того, чтобы сказать о нем пару слов. По сути, это мешок из особых клеток, наполненный жидкостью, занявший место первичной полости тела. Представьте себе, что вы засунули очень прочный и очень эластичный воздушный

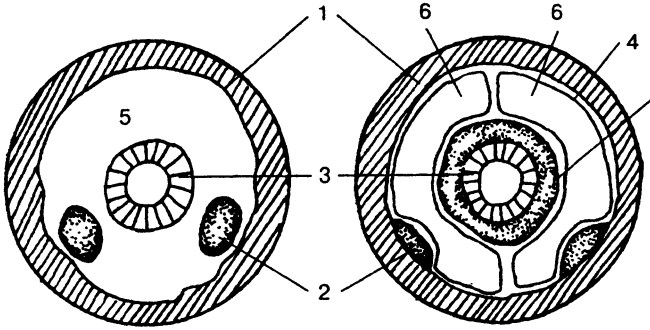


Схема строения первичной и вторичной (целом) полости тела:

1 — стенка тела; 2 — внутренние органы; 3 — кишечник; 4 — выстилка целома; 5 — первичная полость; 6 — целом; 7 — слой кишечных мышц

шарик в щелочку под капотом автомобиля и начали накачивать в него воду. Шарик плотно «обтечет» двигатель и другие детали, заполнив все свободное пространство. Точно так же «облепляет» все внутренние органы целом.

Почему и как возник целом и зачем он был первоначально нужен — не может внятно объяснить ни один зоолог. Говорят, что он играет роль гидроскелета. Но чем он в этой роли лучше первичной полости — не говорят. Однако, возникнув, эта штука коренным образом повлияла на процесс формирования многих других органов и внесла в конструкцию животного очень значительные изменения. Одно из самых важных — появление сложных и совершенных целомических органов выделения. Строго говоря, целом сам работает как орган выделения. В целомическую жидкость сквозь стенки целома из других тканей и органов выводятся

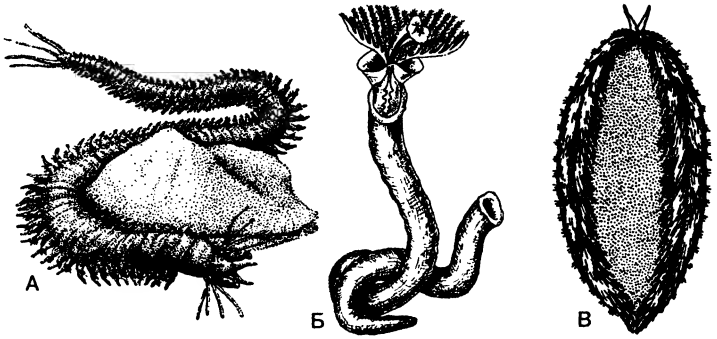
всякие вредные вещества. Внутри целома они захватываются особыми воронками, нефридиями, и по извитым трубочкам выводятся наружу. Эта конструкция возникает только с появлением целома, до того органы выделения выглядят иначе и работают хуже. В дальнейшем органы выделения совершенствуются, но сохраняют в своей основе первоначальный «целомический» принцип. Эффективное выведение из организма «шлаков» — одно из первых условий, без которого невозможен по-настоящему активный обмен веществ. А активный обмен веществ — залог развития и активной работы мускулатуры и нервной системы. И если животные с первичной полостью тела так и остались червями, то обладатели целома ударились в бурную эволюцию и от них произошли все высокоорганизованные животные.

АННЕЛИДЫ

Самые совершенные из червей — черви кольчатые, или аннелиды. У них есть целом, они обладают органами дыхания, кровеносной системой, сложной нервной системой и весьма совершенными органами чувств. Предками кольчатых червей тоже были, вероятно, какие-то турбеллярии или, во всяком случае, очень похожие на них существа. Но предками не прямыми. Простенькие турбеллярии просто не могли сразу дать такую сложную конструкцию, как кольчатый червь. Между тур-

белляриями и кольчецами явно стояла ещё одна (а может, и не одна) группа.

Большинству из нас хорошо знаком только один представитель племени кольчатых червей — дождевой червяк из группы малощетинковых, или олигохет. Однако олигохеты, равно как и некоторые другие классы аннелид, вроде пиявок, ведут весьма специфический образ жизни. Они многое утеряли, и потому мы склонны кольчецов недооценивать. Всеми достоинствами своего типа обладает центральная группа аннелид — многощетинковые, или полихеты. Это обитатели морей, среди которых множество активных хищников. Органы чувств у аннелид развиты прекрасно, не чета глухим и полуслепым плоским и круглым червям. У многих морских полихет есть пара крупных глаз, причем эти глаза способны фокусироваться на предметах и различать мелкие детали. Помимо «главных» глаз, у многих имеются простенькие, как у медуз или турбеллярий, глазки в самых неожиданных местах, например на хвостовой лопасти. У аннелид, кстати, и у дождевых червей тоже есть специальные органы слуха, они способны не только слышать всяческие стуки и шорохи, но и определять направление, в котором находится источник звука. Вкус и обоняние у них тоже достаточно остры, и осязание у них весьма тонкое. Понятно, что для переработки всей поступающей информации необходим сложный аналитический центр. И у аннелид появляется парное скопление нервных клеток, которое



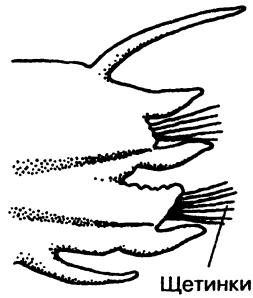
Многощетинковые черви:
А — нереис; Б — сидячий червь серпуля; В — «морская мышь» (афродита)

уже язык не поворачивается называть скоплением или ганглием. И зоологи называют его, как он того и заслуживает, головным мозгом.

Именно головным. У кольчецов впервые в истории появляется четкое расчленение тела на голову и туловище. Есть у них и третий отдел — хвостовая лопасть. Головой называется самый первый сегмент, в котором, кстати, нет целома. В голове помещается мозг, на ней расположены глаза (два или четыре), голова несет особые выросты — щупики, усики и антенны, которыми червяк обследует все, что попадается на пути. Это и органы осязания, и органы обоняния одновременно. А вот рот расположен не на голове, а с брюшной стороны первого туловищного сегмента.

Туловище кольчеца состоит из отдельных сегментов, колец. Отсюда и название этих червей. Каждый туловищный членик имеет свою замкнутую целомическую полость, отделенную

перегородкой от соседней. Да ещё разделенной и вдоль, на правую и левую части. Каждый членик имеет пару собственных органов выделения, свои половые железы, свой маленький нервный центр — парный ганглий. Есть у кольчатых червей и кровеносная система. Сердца, правда, нет. Но с его ролью прекрасно справляются мускулистые стенки сосудов, которые, сокращаясь, гонят кровь по телу. Каждый членик полихет несет ещё пару мускулистых выростов со щетинками. Называются они параподиями, бывают довольно велики, сильны и служат для движения. Так, впервые в эволюции животных появляются ноги. Появляются у аннелид, тоже впервые в истории, и особые органы дыхания — жабры. Это тонкие и нежные выросты параподий, пронизанные кровеносными сосудами, которые «впитывают» кислород из окружающей среды.



Параподия нереиса

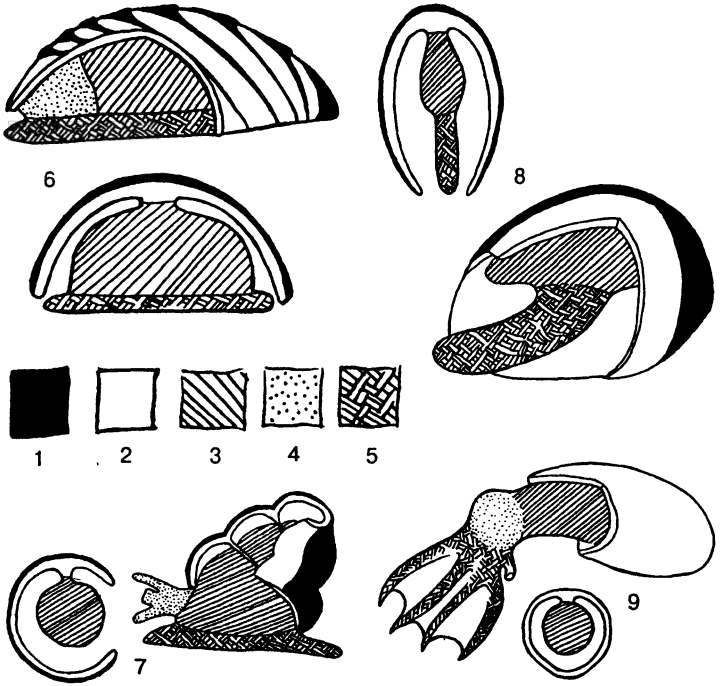
ВСЕ ИЗ НИЧЕГО

Полихеты или их какие-то вымершие близкие родственники дали начало двум высшим ветвям мира беспозвоночных — моллюскам и членистоногим. Моллюски — живой пример того, каких вершин можно достичь, пользуясь

самыми простыми средствами. Моллюски, в общем, не изобретали ничего принципиально нового, они просто с толком использовали доставшееся им от полихет наследство. Отказались от одного, чуть-чуть подправили другое, необычным образом начали использовать третье. А в результате — более ста тысяч видов, обитающих от абиссальной бездны океанов до высокогорий, от полярных стран до тропиков и от безводных пустынь до дремучих лесов. Что же касается умственных способностей и умения ориентироваться в сложной обстановке, то высшая ветвь моллюсков — головоногие — дают фору не только своим «братьям» членистоногим, но и некоторым млекопитающим.

План строения моллюсков прост. Голова обычно имеется. Тело — мешок с внутренностями, вытянутый или округлый. Брюшная сторона тела разрослась в мускулистую подошву, её у моллюсков называют ногой. На спине находится ещё один вырост, разрастающийся во все стороны и свободно свисающий эдаким плащом. Этот плащ зоологи торжественно именуют мантией, она укрывает все тело моллюска, и она же на самой своей «макушке» строит раковину. Пространство под мантией называется мантийной полостью. Все это, так сказать, типовой проект. Разные группы моллюсков преобразуют его, порой до неузнаваемости.

Одно из немногих серьезных усовершенствований, которое моллюски внесли в конструкцию полихет, касается пищеварительной системы. У аннелид пищеварительные ферменты



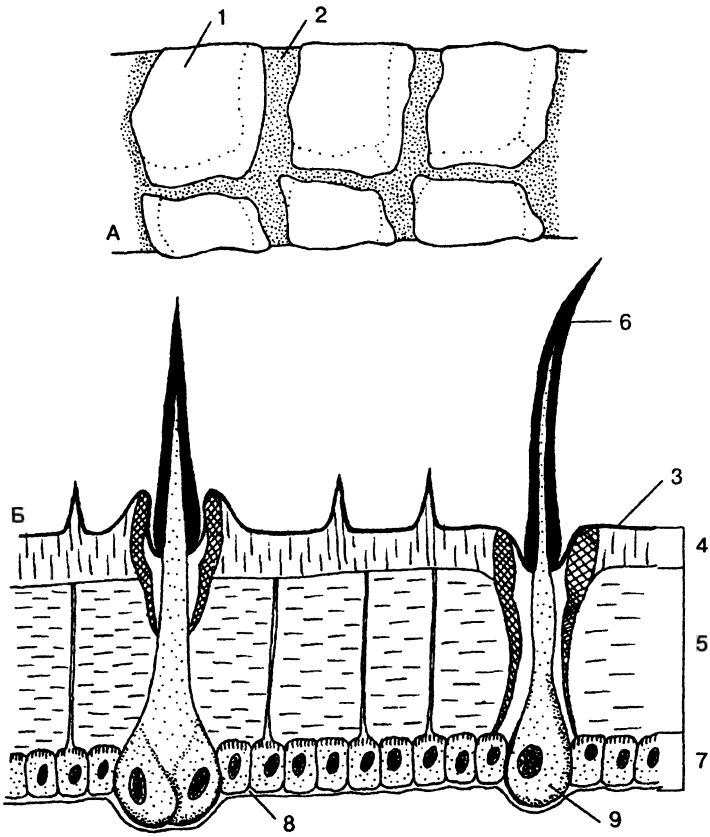
План строения моллюсков разных классов:
1 — раковина; 2 — мантия; 3 — туловище; 4 — голова; 5 — нога; 6 — хитоны; 7 — брюхоногие; 8 — двустворчатые; 9 — головоногие

выделяются особыми клетками, рассеянными по всему кишечнику. Моллюски отрастили в средней кишке длинные, узкие, ветвящиеся карманы и собрали все такие клетки в их стенках. Получилась уже настоящая пищеварительная железа, которая почти не занимается всасыванием питательных веществ, а выделяет в просвет кишечника «пищеварительный сок». Называют эту железу печенью, хотя с печенью позвоночных она имеет мало общего.

Сегментацию тела — чуть ли не самый главный признак кольчецов — моллюски утеряли. От целома — практически отказались. Он сохранился у них только в виде «рубашки», окружающей сердце, и «мешка», содержащего половую железу. «Рубашка» связана двумя сложными извитыми канальцами с внешним миром, и вся эта система играет роль весьма совершенного и эффективного органа выделения. Все остальное пространство между органами заполнено эластичной соединительной тканью.

БРОНИРОВАННЫЙ ЧЕРВЯК

Давным-давно, около шестисот миллионов лет назад, среди древних кольчатых червей появилась мода обзаводиться панцирем из хитина. Это вещество, хотя и родственно обыкновенному сахару, но очень прочно и устойчиво к самым разным химическим воздействиям. Чтобы членистое тело полихет сохранило гибкость, броня тоже стала членистой, а в месте соединения сегментов развивалась только тонкая, гибкая хитиновая пленка. Каждый сегмент полихет, как вам известно, несет мускулистые выросты со щетинками — параподии. Параподии служат одним червям ногами, другим — веслами, а кроме того, на них развиваются жабры. Отказываться от параподий бронированные полихеты не сочли возможным, но чтобы параподии могли работать, двигаться, панцирь на них тоже стал членистым. Это



Наружный скелет членистоногого:

А — общий вид брюшка сбоку; Б — разрез кожи (схема); 1 — жёсткий склерит; 2 — эластичная мембрана; 3 — наружный слой кутикулы; 4 — средний слой кутикулы; 5 — внутренний слой кутикулы; 6 — чувствительные волоски; 7 — гиподерма; 8 — базальная мебрана; 9 — клетка, образующая волосок

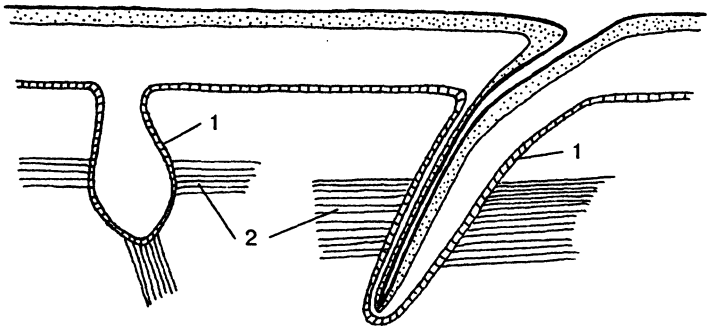
устройство конечностей сохранили все их потомки, за что через полмиллиарда лет они получили от людей прозвище членистоногих. Мы недаром упомянули о моде. По-видимому,

панцирь возник приблизительно в одно и то же время независимо у трех родственных, но разных групп полихет. Почему — не знает никто. Одна группа стала предками ракообразных, другая — пауков и скорпионов, третья — многоножек и насекомых.

Хитиновый покров червяки приобрели поначалу исключительно в целях защиты. Но вскоре изнутри к твердому панцирю стали крепиться мышцы, и панцирь стал играть заодно роль скелета — опоры для тела. Такой скелет называется внешним. Представление о внешнем скелете вы можете получить, посмотрев на жука или краба. Скелет может быть и внутренним. С внутренним скелетом знаком всякий, кто хоть раз ел жареную курицу или рыбу.

Скелет в жизни животных — вещь необыкновенно важная. Когда мышцы крепятся к жесткой опоре, они могут развить большее усилие. Скелет позволяет животному создать систему рычагов-конечностей, которые обеспечивают такую силу и точность движений, какая мягкотелому и присниться не может. И от того, какую конструкцию скелета вы выберете, зависит судьба ваших потомков. Те черви, которые были предками членистоногих, выбрали скелет внешний. А наши предки, предки позвоночных, выбрали скелет внутренний. И эволюция тех и других пошла разными путями.

Основной недостаток внешнего скелета заключался в том, что он не позволял животному достигать крупных размеров. Чем больше



Крепление мышц к наружному скелету:
1 — выросты склерита, к которым прикрепляются мышцы;
2 — мышцы

размер (и вес) тела, тем сильней должны быть мышцы. Чем большее усилие развивают мышцы, тем прочнее (и тяжелее) должен быть скелет. Если вы задумали расти до бесконечности, у вас ничего не получится. Беда в том, что с увеличением размера ваш вес будет расти в кубической прогрессии, а сила мышц — только в квадратической. Наступит момент, когда ваши мышцы просто не в силах будут поднять сами себя. Но ещё раньше наступит момент, когда ваш скелет или сломается под грузом тела, или станет таким массивным, что мышцы не смогут его таскать. Так вот, владелец внешнего скелета попадет в такое положение задолго до того, как владелец внутреннего каркаса вообще начнет ощущать неудобство своего размера.

Особенно резко начали проявляться достоинства и недостатки той и другой конструкции, когда около четырехсот миллионов лет

назад животные принялись осваивать сушу. На суше вес тела ощущается гораздо сильней, чем в воде. И среди крупных, тяжелых животных несомненное преимущество получили обладатели внутреннего скелета. Но одна из главных проблем на суше — потери воды. Особенно страшны они для животных мелких, которым высохнуть ничего не стоит. И среди мелких животных преимущество получили обладатели внешнего скелета, который отлично защищает не только от врагов, но и от высыхания.

Членистоногие в результате были вынуждены следовать совсем другой жизненной стратегии, чем позвоночные. Мелкий размер — больше роковых случайностей, короче жизнь. Жизнь коротка — нужно успеть оставить как можно больше потомков, чтобы род не угас. Накопить за короткую жизнь приличный жизненный опыт невозможно. Значит, делаем упор не на обучение, не на «мозги», а на врожденные программы поведения. Учить и воспитывать детей некогда. Но поскольку их тьма, то кому-то обязательно повезет и он продолжит род. Вообще, жизненный успех мелких существ ничуть не меньше, чем крупных. Просто достигать его приходится другим путем.

У позвоночных, соответственно, все наоборот. Основная линия развития — крупные размеры, длинная жизнь. Длинная жизнь — возможность приобретения опыта. Есть опыт — есть чем поделиться с сородичами. Отсюда преобладание обучения над врожденными программами поведения. Но обучить и воспитать

несколько сотен потомков невозможно. Поэтому у продвинутых позвоночных детей не бывает много. Но зато много сил и времени отдается их обучению, и смертность детенышей ниже.

ВТОРИЧНОРОТЫЕ

Кольчатые черви, моллюски и членистоногие, это, в общем, отростки единой ветви, которая берет свое начало от каких-то древних существ. Существа эти, быть может, были похожи на ранних кольчатых червей. Жили они, по-видимому, ещё в докембрийских морях, около шестисот миллионов лет назад, и отличались от своих предков наличием вторичной полости тела — целома. В те же древние времена и от тех же, быть может, предков, произошла другая ветвь, даже целый «куст», целомических животных. Один из побегов этого куста несколько позже дал начало позвоночным.

Эти две ветви животного мира носят названия первичноротых и вторичноротых. Кольчатые черви, моллюски и членистоногие относятся к ветви первичноротых, а мы с вами, вместе с морскими звездами, сальпами и другими весьма причудливыми созданиями, относимся к вторичноротым. Отличаются вторичноротые от первичноротых прежде всего особенностями раннего эмбрионального развития. В частности, они по-разному решают довольно приземленный вопрос — вопрос образования рта и заднепроходного отверстия. Как вы помните,

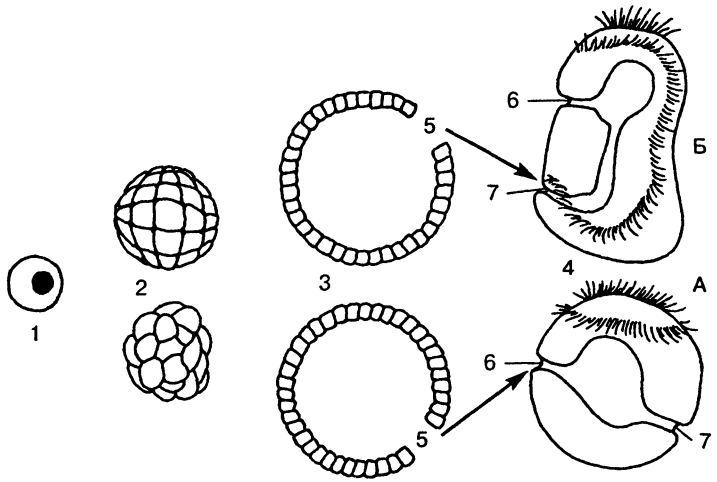


Схема эмбриогенеза первично- (А) и вторичноротых (Б):

1 — зигота; 2 — дробление (обратите внимание на тип дробления!); 3 — бластула; 4 — личинка; 5 — бластопор («первичный рот»); 6 — ротовое отверстие; 7 — анальное отверстие

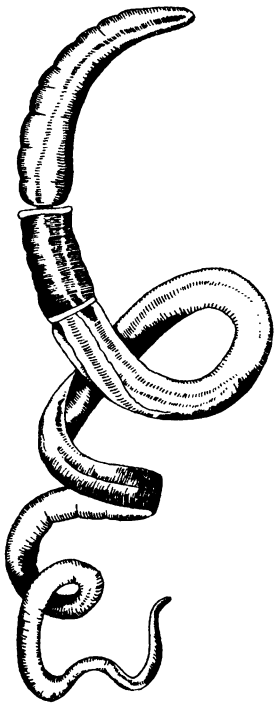
всякий зародыш животного проходит в своем развитии стадию гаструлы. На этой стадии он представляет собой просто мешочек из клеток. Отверстие этого мешочка, бластопор, у первичноротых превращается в рот, а заднепроходное отверстие образуется позже и самостоятельно. А у вторичноротых, в том числе и у нас с вами, всё наоборот — концы тела поменялись местами, бластопор стал служить заднепроходным отверстием, а рот прорывается на противоположном конце.

Иногда эти две ветви выводятся из одного корня. Предполагается, что когда-то, позже круглых червей, существовали животные, уже

обладавшие целомом, которые и дали начало, с одной стороны — кольчатым червям, с другой — предку всех вторичноротых. На самом же деле вопрос этот очень и очень спорный. Дело в том, что у первичноротого зародыша целом закладывается, как особый орган одного из зародышевых листков — мезодермы. У вторичноротых же целом возникает, как отростки средней кишки, которая формируется из энтодермы. Мутит воду и множество других деталей, мелких и не очень. В частности, похоже, что и сегментация тела у вторичноротых и первичноротых имеет разное происхождение, и закладка нервной системы не «выводится» одна из другой, и деление оплодотворенной яйцеклетки идет несколько иначе. Как ни крути, различия очень серьезные. Вполне может быть, что предки у ветвей были совершенно разные, а целом они приобрели независимо друг от друга. Не исключена и такая ситуация, что разные типы вторичноротых произошли независимо друг от друга. Вопрос темный.

ПРАРОДИТЕЛИ ХОРДОВЫХ?

Ну ничего особенного в них нет — червяки червяками. Живут на дне морском, главным образом на мелководье. Интеллектом не блещут. Питаются, заглатывая грунт и переваривая все съедобное, что в этом грунте содержится. Одни роют норки, другие прокладывают на дне трубочки из засохшей слизи.



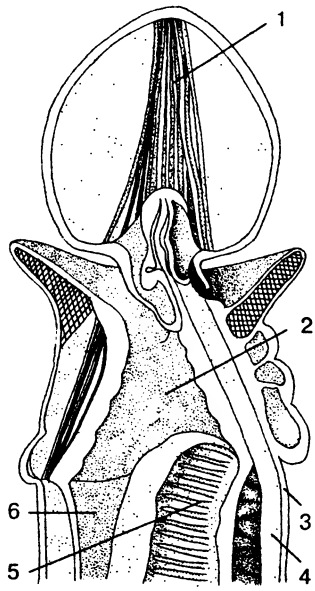
Кишечнодышащие

Тело разбито на три отдела: мускулистый хоботок, воротничок и собственно тело. Хоботок способен вытягиваться и сокращаться, как тело дождевого червя. Таким образом он продвигается в грунте, и, как тягач, тащит за собой все остальное тело. Называют этих червей неблагозвучным именем кишечнодышащие и относят к особому типу вторичноротых животных — типу полухордовых. При всей своей невзрачности, полухордовые — очень интересная группа. Насколько можно судить по развитию эмбрионов и строению личинки, они родня иглокожим, можно сказать — родные братья. С другой стороны, у них есть некоторые уникальные черты, которых нет ни у одной другой группы беспозвоночных, зато есть у хордовых.

Прежде всего, это так называемый нотохорд — узкий вырост кишечника с плотными стенками. Этот вырост проникает в хоботок и служит ему, хоботку, опорой. Эмбриональное развитие нотохорда, его строение и роль очень напоминают хорду. Кроме того, у этих червяков нервная система состоит из двух стволов —

слабенького брюшного и хорошо развитого спинного. Вообще, смещение нервных клеток на спинную сторону характерно для всех вторичноротых, тогда как у первичноротых основными (а часто и единственными) являются брюшные стволы. Но, мало того, спинной ствол у кишечнодышащих закладывается в виде нервной полоски, которая далее превращается в желоб, а потом в нервную трубку. Это тоже уникальная особенность, которая, кроме наших червяков, наблюдается только у хордовых.

И наконец, система дыхания, которой, собственно, кишечнодышащие и обязаны своим именем. Начальный отдел кишечника прорезан по бокам двумя рядами вертикальных щелей. Перегородки между щелями пронизаны кровеносными сосудами. Вода поступает в рот и выходит через эти щели, по пути отдавая кислород крови. Ни у одного другого беспозвоночного животного нет ничего похожего. Но у хордовых это базовая конструкция дыхательного



Строение головного конца кишечнодышащих:

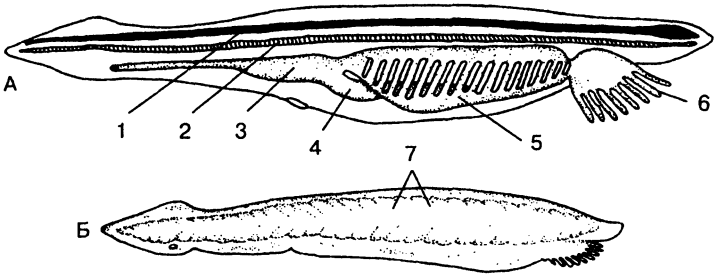
1 — мышцы хоботка; 2 — глотка; 3 — спинной нервный тяж; 4 — кровеносный сосуд; 5 — кишечник с жаберными щелями; 6 — пищевод

аппарата, на основе которой возникает жаберное дыхание низших позвоночных. По мнению большинства зоологов, гемихордовые — если и не прямые предки хордовых, то очень на них похожи.

ЛАНЦЕТНИК

Хордовые — отдельный тип животных. Делится он на три подтипа: бесчерепные, оболочники и позвоночные. Так что хордовые имеют такой же ранг, как, например, членистоногие или моллюски, и это всего лишь один тип из двух десятков типов животного царства. А ранг позвоночных равен, скажем, рангу хелицеровых из типа членистоногих. И то, что во многих учебниках позвоночным уделяется больше половины объема, это просто плод нашего пристрастия к близким родственникам.

Самое древнее и примитивное хордовое животное — ланцетник. Ланцетники — единственные представители подтипа бесчерепных, и насчитывается их всего несколько десятков видов. Размер ланцетника — несколько сантиметров, не больше десяти. Похож он на маленькую полупрозрачную рыбку, но устроен значительно проще. Вдоль спины, от кончика носа до кончика хвоста, тянется нервная трубка, точнее — желоб с сомкнутыми верхними краями. В передней части трубка образует небольшое расширение, носящее



Ланцетник:

А — внутреннее строение; Б — внешний вид; 1 — нервная трубка; 2 — хорда; 3 — кишечник; 4 — печень; 5 — глотка с жаберными щелями; 6 — усики; 7 — сегменты мышц

громкое название мозга. Под нервной трубкой лежит плотный эластичный стержень — хорда. Оболочка хорды состоит из плотного волокнистого вещества, а внутри — крупные водянистые клетки. Упругость и эластичность хорды — это упругость армированного резинового шланга, в который накачана вода. Кровеносная система замкнутая, но сердца нет, кровь перегоняется по сосудам сокращениями мускулистых стенок брюшной аорты. Кстати, сердце у продвинутых хордовых возникнет именно здесь, на брюшном продольном сосуде, тогда как у всех первичноротых сердце лежит на спинной стороне.

Кишечник у ланцетника незамысловат — почти прямая трубка ото рта до заднепроходного отверстия, с брюшным выростом, печенью. Но глотка по бокам прорезана щелями, как у некоторых полухордовых. Щели эти называются жаберными, но на самом деле никаких жабер, то есть тонкостенных выростов,

служащих для дыхания, здесь нет. Кислород ланцетник «впитывает» всей поверхностью тела. Реснички, расположенные во рту, гонят воду в глотку и через жаберные щели наружу. А всяческая мелочь, вроде протист и одноклеточных водорослей, задерживается на «жабрах». Так что жаберные щели — это не орган дыхания, а орган питания. Скопившаяся на жаберных щелях пища уносится слизью по специальному желобу на дне глотки вперед. Слизь движется благодаря биению ресничек на дне желоба, который, дойдя до рта, раздваивается, обходит рот и по спинной стороне глотки возвращается назад, неся пищу в кишечник. Этот слизистый желоб с ресничками на дне называется «эндостиль». Точно такой же имеется в глотке полухордовых. Расположенные по бокам рта усики в захвате пищи никакой роли не играют, а служат дополнительным фильтром, отсеивающим крупные несъедобные частицы.

С органами чувств у ланцетника совсем плохо. Если не считать рассеянных в разных местах тела чувствительных клеток, то таких органов всего два. Органом обоняния служит особая ямка на «темени», сообщающаяся каналом с полостью мозга. Глаз нет, но в состав мозга входит скопление особых светочувствительных клеток, так что свет от тьмы ланцетник отличает. Оба органа, в отличие от органов чувств позвоночных, непарные. Единственные чувство, которое у ланцетника развито довольно прилично, это осязание.

Бока ланцетника одеты плотными слоями мышц, похожих на мышцы рыбы. На каждом боку мышечный слой разбит на сегменты. Между сегментами залегают тонкие перегородки, которые состоят из такого же вещества, как оболочка хорды и, по сути, являются плоскими боковыми выростами этой оболочки. Поочередное сокращение мышечных сегментов изгибает хорду волнами, и тело извивается, как тело рыбы или змеи. Такое движение свойственно всем низшим и многим высшим позвоночным. А вот никакие беспозвоночные так двигаться не умеют.

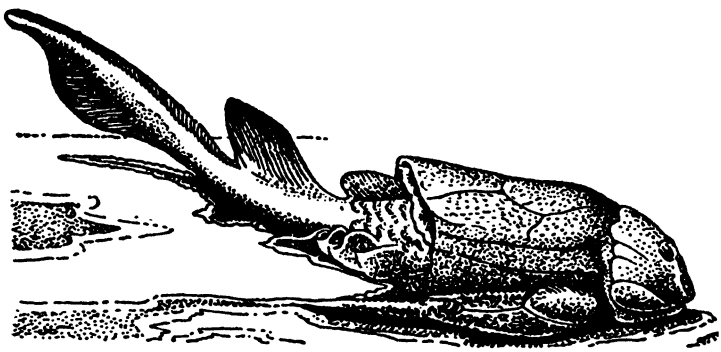
Плавать ланцетник может довольно ловко, но без нужды не шевелится. Практически всю жизнь он проводит зарывшись в песок, так что наружу торчит только «голова», и спокойно фильтрует морскую воду. А вот личинки у ланцетника активно плавают и охотятся на всякую мелочь, так что мышцы взрослого ланцетника своего рода наследие детства.

ПОЗВОНОЧНЫЕ

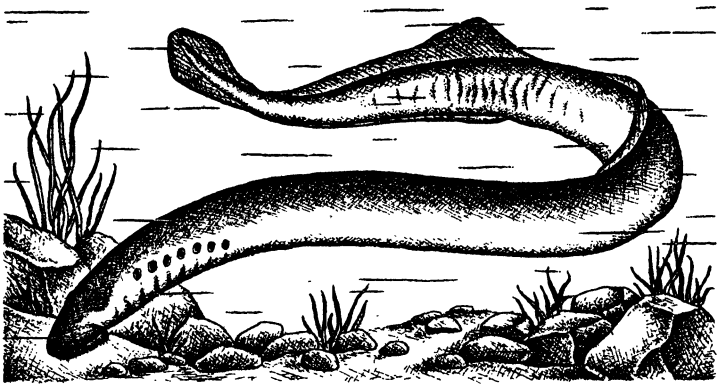
Где-то в конце кембрия, более полумиллиарда лет назад, какие-то пра-пра-пра-правнуки какого-то существа, очень похожего на ланцетника, дали начало четырем разным классам позвоночных. Это бесчелюстные, панцирные рыбы, хрящевые рыбы и появившиеся немного позже рыбы костные. Вся эта публика вела довольно активную жизнь. Активные

животные нуждаются в большом количестве кислорода — и каждая из групп начала с того, что обзавелась настоящими жабрами. Хотя каждая группа проделала это сама по себе, но жабры все отрастили на одном месте — на перегородках между жаберными щелями. Где только жабры у животных ни появлялись, почему бы им не возникнуть в щелях глотки, через которые идет непрерывный ток воды, несущей кислород. И все остальные новшества — костную ткань, внутренний скелет, челюсти, парные конечности — представители этих групп тоже изобретали самостоятельно. То, что результаты оказались похожими, неудивительно. Ведь «базовая» конструкция у них была одинаковой, кроме того, все они обитали в воде и проблемы перед ними стояли сходные.

Панцирные рыбы вымерли, не оставив потомков, от обширного класса бесчелюстных до наших времен дожило несколько десятков



Панцирная рыба



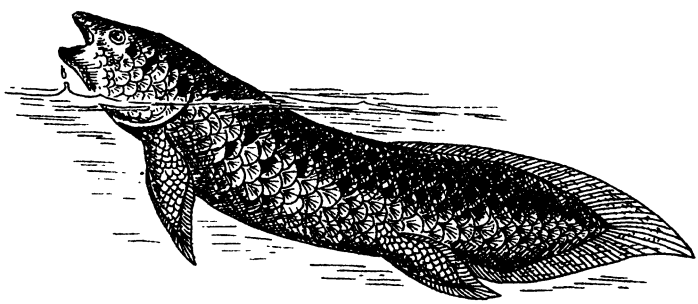
Минога

видов — миноги и миксины. В водоемах планеты ныне царствуют хрящевые (акулы и скаты) и костные рыбы. И именно костные рыбы дали начало сухопутным позвоночным.

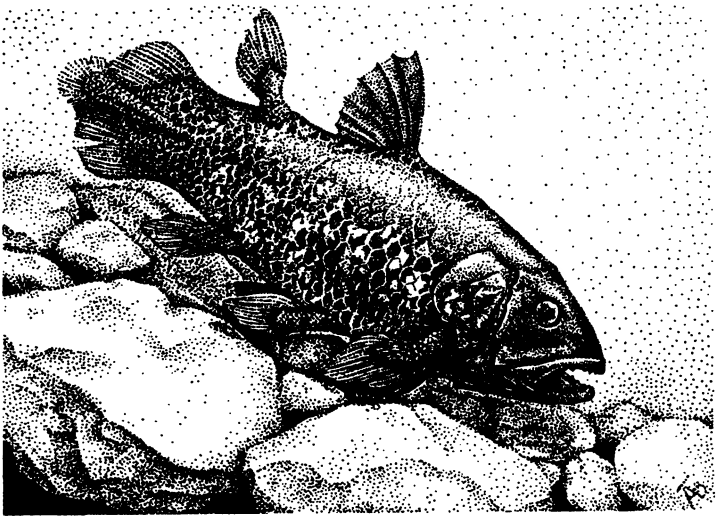
ВЫХОД НА СУШУ

Класс костных рыб делится на два подкласса — лучеперые и лопастеперые. Лучеперые ударились в бурную эволюцию, завоевали все водоемы планеты, и сейчас именно они представляют класс костных рыб. Лопастеперым это почему-то не удалось. Они отделились от главного ствола костных рыб очень давно, вероятно, ещё в силуре, более четырехсот миллионов лет назад. Их родина — пресные воды. Хотя не раз и не два отдельные группы лопастеперых возвращались в море, но именно мелкие, мутные, бедные кислородом водоемы всегда были

их главной вотчиной. Как раз в силуре растения начали проникать на сушу, на прибрежные, заболоченные участки. В заросших древними псилофитами лужах и старицах лопастеперые разошлись на две ветви — двоякодышащих и кистеперых. Двоякодышащие начали специализироваться на растительной пище, моллюсках, червях и членистоногих, а кистеперые начали охотиться на своих собратьев. Жизнь в мелких, прогреваемых водоемах, в которых постоянно ощущается недостаток кислорода, вынудила лопастеперых использовать для дыхания атмосферный кислород. Но жабры для этого плохо приспособлены, у рыбы, высунувшейся из воды, кровеносные сосуды рта и глотки поглощают кислород эффективней, чем слипающиеся на воздухе жаберные лепестки. И у лопастеперых возникли легкие — глубокие карманы глотки, стенки которых густо покрылись капиллярами. В результате не успешные и продвинутые лучеперые, а именно несуразные и неперспективные лопастеперые стали предками высшей ветви позвоночных.



Двоякодышащая рыба рогозуб



Латимерия

Ныне от процветающей некогда группы осталось всего семь видов. Шесть видов двоякодышащих — один в Австралии, четыре в Африке и один в Южной Америке и единственный вид кистеперых — знаменитая латимерия, чудом сохранившаяся в вечном мраке глубоководных пещер в основании Коморских островов. Латимерия не имеет легких. Но древние кистеперые, рипидистии, обитавшие в теплых заросших старицах древних рек, имели легкие и кровеносную систему, как у двоякодышащих.

Довольно долго зоологи спорили, кто был предком первых позвоночных, вышедших на сушу: двоякодышащие или кистеперые. Сейчас твердо установлено, что это были кистеперые, рипидистии. Рипидистии стали предками

амфибий. Именно они сделали первый шаг, который привел в конце концов к появлению птиц и млекопитающих.

ШИВОРОТ-НАВЫВОРОТ

Наличие легких вынудило лопастеперых внести серьезные изменения в систему кровообращения. И об этом стоит рассказать чуть подробней, поскольку именно изменения системы кровообращения позволили, в конце концов, появиться очень сложному мозгу и тончайшей координации движений птиц и млекопитающих. А кроме того, развитие кровеносной системы — прекрасный пример того, как эволюция ставит порой организм в совершенно дурацкое положение, а потом изобретает всяческие хитрости, чтобы из этого положения выйти.

Исходная для всех рыб конструкция, в общем, довольно проста и очень рациональна. Сердце состоит из двух отделов, предсердия и желудочка. Из желудочка кровь выталкивается в мощный сосуд, идущий вперед под жабрами — брюшную аорту. От брюшной аорты отделяются ветви, по паре к каждой паре жабер. Обогатившись в жабрах кислородом, кровь поступает в мощный спинной сосуд — спинную аорту. Кровь от задних жаберных дуг течет по аорте назад, а от передних — вперед, к голове. Ветви спинной аорты, несущие кровь к голове, называются сонными артериями. Распадаясь на все более и более мелкие

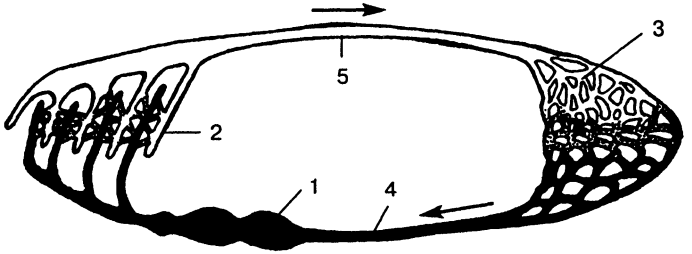


Схема кровеносной системы «обычных» рыб:
1 — сердце; 2 — сеть капилляров в жабрах; 3 — сеть капилляров во внутренних органах; 4 — венозная кровь (без кислорода); 5 — артериальная кровь (с кислородом)

веточки, сосуды несут кровь ко всем органам. Затем они снова собираются вместе, и кровь от всех органов тела одним общим протоком впадает в предсердие. Предсердие выталкивает кровь в желудочек, и круг начинается сызнова. Все органы получают кровь, прошедшую через жабры и насыщенную кислородом, и никаких проблем не возникает. Насыщенную кислородом кровь называют артериальной, а кровь, у которой кислород отобран мышцами, мозгом, кишечником и другими органами, — венозной.

Начав дышать одновременно и жабрами, и легкими, рыба попадает в трудное положение. Если бы легкие возникали на месте жабер, все было бы в порядке. Но легкие — это выросты пищеварительного тракта, кровь попадает к ним, уже пройдя через жабры. Обогащенная кислородом артериальная кровь от легких попадает не к мозгу или мышцам, где она всего нужнее, а в общее русло, идущее к сердцу, и смешивается здесь с бескислородной венозной

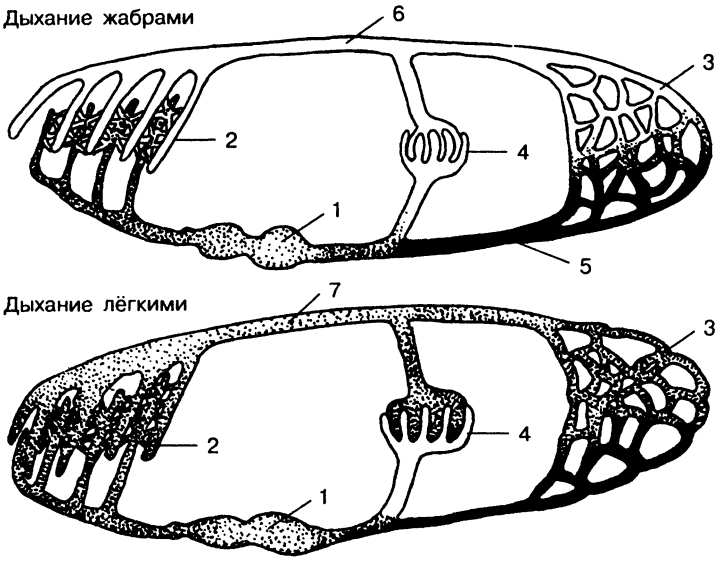


Схема кровеносной системы рыб с двойным дыханием:

1 — сердце; 2 — сеть капилляров в жабрах; 3 — сеть капилляров во внутренних органах; 4 — сеть капилляров в лёгких; 5 — венозная кровь (без кислорода); 6 — артериальная кровь (с кислородом); 7 — смешанная кровь

кровью, возвращающейся от всех остальных органов. Из сердца выходит смешанная кровь, кислорода ней, особенно для мозга, маловато. К тому же часть этой крови снова идет в легкие, которым кислород вовсе не нужен. Нет, конечно, лучше так, чем совсем без кислорода, но эффективность всей системы оказывается гораздо ниже, чем у нормальной рыбы, и даже ниже, чем у ланцетника. Стоило ради этого огород городить?

Можно, конечно, задать эволюции вопрос, почему бы не организовать легкие на месте зад-

ней пары жаберных мешков? Зачем загонять новую систему в кишечник? Ответа вы не дождетесь. Если бы кровеносную систему рыб с двойным дыханием проектировал нормальный инженер, то его выгнали бы с работы с треском. Но в том-то и дело, что эволюция — плохой конструктор. Она не имеет предварительного плана, а действует по принципу «сейчас работает — и ладно». А как система будет развиваться дальше — её не интересует. Эволюция — не разумный процесс, она идет по линии наименьшего сопротивления, не задумываясь о последствиях.

Вывернуться из этой ситуации оказалось непросто. Вся дальнейшая эволюция кровеносной системы — это поиск выхода из тупика, в который эту систему загнали рыбы с двойным дыханием. Пришлось организму прокладывать новые кровеносные сосуды, перекрывать часть старых, возводить в сердце систему перегородок и клапанов. И все для того, чтобы разделить потоки венозной и артериальной крови, обеспечить мозг и мышцы чистой артериальной кровью. То есть восстановить ту ситуацию, которая была в свое время у нормальных рыб.

Вся эта суета вокруг кровеносной системы продолжалась около двухсот пятидесяти миллионов лет. И только высшие формы рептилий смогли окончательно освободиться от ненужных сосудов и прийти к той целесообразности кровеносной системы, которую утеряли рыбы, «воткнув» новый дыхательный аппарат

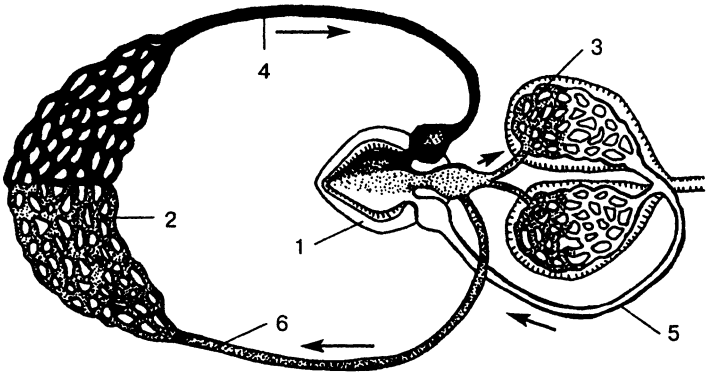


Схема кровеносной системы амфибий и рептилий:

1 — сердце; 2 — сеть капилляров во внутренних органах; 3 — сеть капилляров в лёгких; 4 — венозная кровь (без кислорода); 5 — артериальная кровь (с кислородом); 6 — смешанная кровь

не на место одной из пар жаберных мешков, а в кишечник. Результатом этой победы над эволюцией стали млекопитающие и птицы.

МЕЖДУ ДВУХ СТУЛЬЕВ

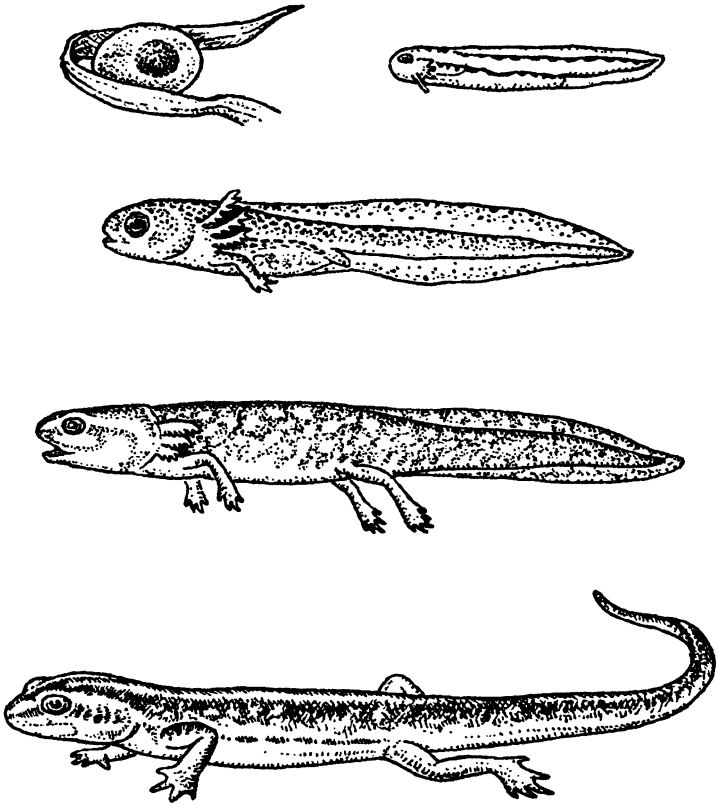
Амфибии — первые наземные позвоночные — появились на Земле в начале девонского периода, около четырехсот миллионов лет назад. К этому времени на суше уже появилась растительность, и хотя огромные пространства материков ещё оставались пустынными, но обширные заболоченные низменности по берегам рек и озер покрывали густые заросли псилофитов и гигантских плаунов. Среди мхов, опавших листьев и бурелома

можно было найти коллембол, многоножек и примитивных насекомых, похожих на бескрылых тараканов.

Если самые первые амфибии по сути не отличались от двоякодышащих рипидистий ничем, кроме ног, то у продвинутых амфибий довольно основательно изменились и другие системы органов. В первую очередь это касается органов дыхания и кровообращения. Оптические свойства воздуха совсем другие, чем воды, и амфибиям пришлось перестраивать глаза. Вода — вещество плотное, и звуковые колебания легко передаются непосредственно через кости черепа на внутреннее ухо. В воздухе не все так просто, чтобы слышать, пришлось обзавестись барабанной перепонкой и средним ухом — структурой, передающей колебания барабанной перепонки на ухо внутреннее. А боковая линия у взрослых амфибий исчезла (но сохранилась у личинок).

Однако, несмотря на все перестройки, амфибии ещё очень несовершенная, «экспериментальная» модель сухопутного животного. Самое главное, что привязывает амфибий к воде — размножение. Для размножения амфибиям нужна вода, и это привязывает их к водоемам намного прочнее, чем тонкая влажная кожа и несовершенные конечности.

Амфибии во многих отношениях удивительно несовершенные животные. В воде им далеко до их предков — рыб. На суше они не могут тягаться со своими потомками — рептилиями, птицами и млекопитающими.



Развитие амфибии

Их место — «ничейная земля», зона контакта воды и суши, они уже не водные, но ещё и не вполне сухопутные существа. Царство их было недолгим. Уже через тридцать, сорок миллионов лет после появления земноводных их начали теснить их собственные потомки — рептилии. С тех пор и до наших дней амфибии — самый малочисленный класс позвоночных животных.

ВСЕ МЫ ВЫШЛИ ИЗ ЯЙЦА

Первые рептилии появились на Земле в начале карбона, около трехсот сорока миллионов лет назад. Это были мелкие существа, длина их тела не превышала десяти сантиметров. Длинный хвост, хорошо развитые лапки, небольшая голова — всё свидетельствует о том, что они были довольно подвижными и юркими. Они, вероятно, умели лазать по камням и бурелому, заглядывали во все щели, разыскивали и поедали мелких беспозвоночных. Их мелкие и острые зубки говорят о том, что именно насекомые, пауки и многоножки служили им добычей. И внешностью и поведением они очень напоминали современных ящериц.

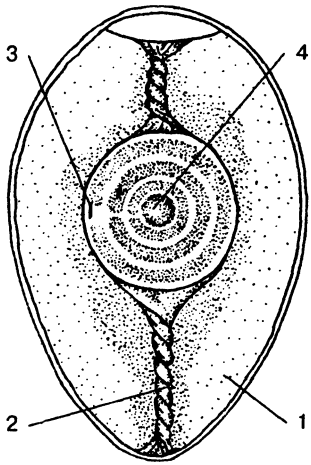
Рептилии отличаются от своих предков амфибий в первую очередь приспособлениями к жизни в засушливых местах. Кожа рептилий покрыта плотными роговыми чешуями, не пропускающими воду, а их органы выделения выводят «шлаки» не в виде водного раствора (мочи), как у амфибий, а в виде кашицы из кристаллов. Роговой покров экономит воду, но одновременно он исключает возможность кожного дыхания. Рептилии довольно основательно перестроили легкие и систему кровообращения. Завоевать планету суждено было рептилиям. Мелкие и примитивные «ящерки» были только передовым отрядом. Их потомки освоили не только всю сушу, но и просторы океанов и даже воздушную стихию. Среди рептилий были гиганты, достигавшие 80 тонн

веса, и были карлики, весившие всего около одного грамма. Были могучие хищники и мирные травоядные, стремительные бегуны и пловцы, не уступавшие самым быстрым рыбам. Крылатые рептилии господствовали в воздухе, и очень долго птицы не могли с ними тягаться. Рептилии безраздельно господствовали на суше более 200 миллионов лет.

Главным изобретением рептилий было, однако, вовсе не роговое покрытие кожи и даже не четырехкамерное сердце. Принципиальное новшество, невиданное до тех пор в мире позвоночных, рептилии внесли в конструкцию яйца. Это яйцо, проходя перед откладкой через яйцеводы самки, стало одеваться двумя оболочками. Внутренняя состоит из пропитанного водой белка. Наружная оболочка кожистая, с твердым и непроницаемым для воды известковым слоем на поверхности. У примитивных рептилий, вроде ящериц и змей, эти оболочки тонкие, а внешняя лишена извести или слой этой извести очень тонок. Но у продвинутых рептилий — крокодилов, текодонтов, динозавров — эти оболочки развиты очень хорошо. Чтобы зародыш мог спокойно развиваться, яйцо стало снабжаться очень большим запасом питательных веществ — желтком. Желток есть в яйцах всех животных, от червей до амфибий. Но там его обычно мало, и из яйца выходит очень мелкая и, по сути, недоразвитая личинка. Птицы, унаследовав яйцо от динозавров, его практически не изменили, так что обычное

куриное яйцо — прекрасный образец этой новой конструкции.

И желтком, и оболочками яйца снабжает зародыш мать. Но и сам зародыш не сидит сложа руки. Начав развиваться, он отращивает вокруг себя собственную двойную оболочку, наполненную жидкостью, и оказывается в уютной упаковке, вроде водяного матраса. Называется этот матрас — амнион. Но зародышу нужно ещё и дышать. Хотя скорлупа яйца и пропускает кислород, но яйцо, снабженное запасами воды и желтка, оказывается весьма крупным. А кислорода в крупном яйце зародышу всегда не хватает, мы говорили уже об этом в главе «Между двух стульев». Кроме того, водонепроницаемая оболочка не позволяет выводить из яйца продукты обмена зародыша. И у зародыша начинает развиваться особый мешок с замысловатым названием аллантоис. Этот мешок, протиснувшись из-под амниона и сплющившись, расползается под скорлупой яйца, окружая зародыш с амнионом ещё одной оболочкой. Внутренность этого «мешка» служит накопителем отбросов. А его оболочка, прилегающая к скорлупе и густо пронизанная



Строение яйца:
1 — белок; 2 — халаза; 3 — развивающийся эмбрион; 4 — желток

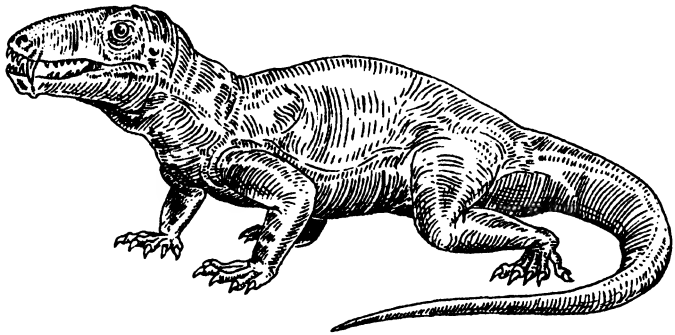
кровеносными сосудами, служит зародышу органом дыхания.

Зародыш в таком яйце не нуждается в воде, защищен от высыхания (и, кстати, от многих паразитов, хищников и микроорганизмов) и может спокойно развиваться на суше. Рептилии бесповоротно рвут связь с водоемами и становятся настоящими сухопутными животными. Такого рода яйцом обладают и потомки рептилий — птицы и млекопитающие. Все эти три класса относятся к высшим позвоночным. Ещё их называют амниотами, по названию одной из зародышевых оболочек. А амфибии, три класса рыб и бесчелюстные относятся к низшим позвоночным или анамниям.

Млекопитающие, кстати, довольно долго размножались яйцами, как современные утконосы и ехидны. Живорождение они разработали позже и воспользовались аллантоисом для прямого подключения зародыша к кровеносной системе матери. Аллантоис зародыша срастается со стенкой матки, а его кровеносные сосуды — с кровеносными сосудами самки. Теперь аллантоис называется плацентой, а яйцевые оболочки теряются за ненадобностью. Амнион же сохраняется, он предохраняет плод от травм. Только перед самыми родами он лопается, амниотическая жидкость вытекает (отходят воды), а ребенок (теленок, щенок или мышонок) появляются на свет или разорвав амнион окончательно, или прямо в нем, и тогда про них говорят, что они «родились в рубашке».

ЧТО ДАЛЬШЕ?

Любая рептилия, если она хочет двигаться по пути прогресса, должна решить несколько задач. Поскольку для животного прогресс — это прогресс поведения, движения, то в первую очередь нужно решить вопрос лучшего обеспечения организма топливом и кислородом. Это необходимо, кроме всего прочего, для развития более совершенного центра управления — мозга. Мозг рептилий уже довольно сложная машина и, чтобы он работал эффективно, желательна высокая и постоянная температура тела. Сложнейшие комплексы биохимических реакций, идущих в нервных клетках, весьма болезненно реагируют на скачки температуры. Весь этот клубок взаимосвязанных проблем требовал перестройки кровеносной системы, в том числе системы управления сосудами. Кровь не только разносит по телу кислород и пищу, она вдобавок несет тепло. Тепло выделяют интенсивно работающие внутренние органы, не только мышцы, очень много тепла выделяется при переваривании пищи, при работе печени, греется при работе мозг. Поверхностные сосуды либо теряют тепло — в холодную погоду, — либо перегреваются — в жару. Поддержание постоянной температуры тела — это умение так регулировать интенсивность кровотока между разными частями тела, чтобы поддерживать равновесие между приходом и расходом тепла. Второй комплекс задач связан уже непосредственно с



Ранняя синапсида биорамазух

движением — требуется перестройка скелета и мышечной системы.

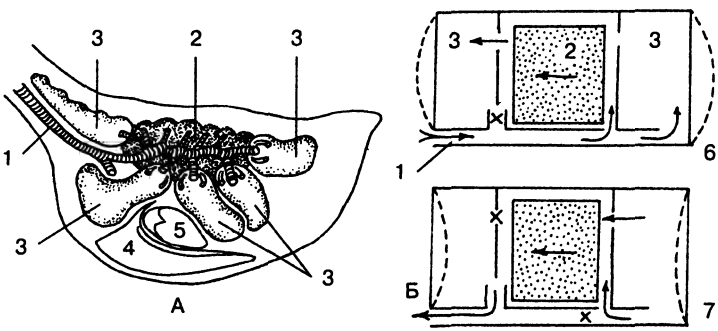
За решение этих задач взялись две группы древних рептилий: архозавры из ветви диапсид и терапсиды из ветви синапсид. Поскольку и архозавры, и терапсиды были рептилиями, то и задачи перед ними стояли сходные. Но поскольку они были разными рептилиями и делали ставку на разные стратегии выживания, то и пути решения этих задач оказались не вполне одинаковыми. Несколько различным оказался и результат. Терапсиды дали начало млекопитающим, а архозавры — птицам.

ПТИЦЫ

Активный маневренный полет — самая, пожалуй, сложная форма движения. Он требует огромных затрат энергии и необыкновенно точной и сложной координации работы мышц. Соответственно, требуются очень интенсивный

обмен веществ, сложный и быстродействующий центр управления, эффективная и бесперебойная работа всех остальных систем. Все это у птиц есть, и во многих отношениях это самые совершенные позвоночные.

Дыхание птиц не имеет аналогов среди современных позвоночных. У амфибий, рептилий и млекопитающих легкие работают на вдох-выдох. При таком способе вентиляции легких, как бы глубоко вы ни дышали, в дыхательных путях всегда остается весьма приличный «мертвый» запас воздуха, который вам никак не удастся «выдавить». Птицам кислорода нужно много, и они не могут позволить себе такой роскоши, как неполное использование объема легких. У них развиваются особые воздушные мешки, проникающие даже в легкие пустотелые птичьи кости. Воздух из бронхов поступает сначала в эти мешки, а только



Воздушные мешки птиц:

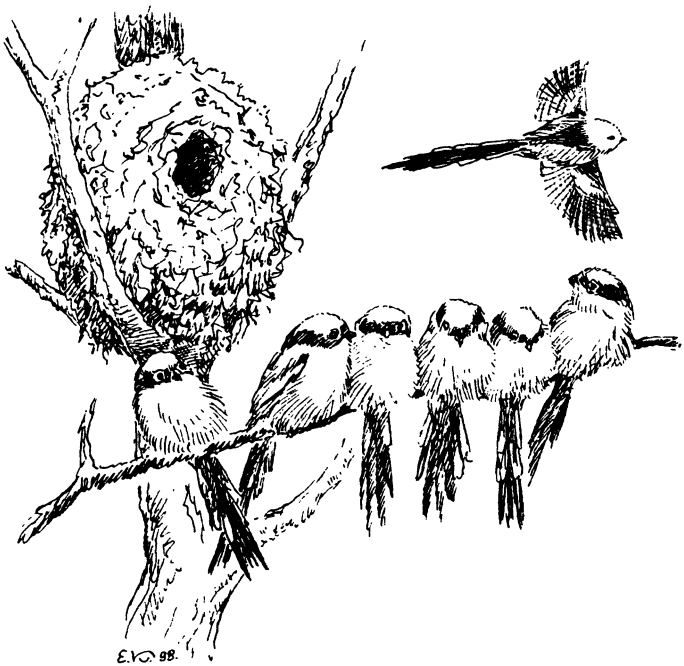
А — расположение в теле птицы; Б — схема циркуляции воздуха в дыхательной системе птиц; 1 — трахея; 2 — легкое (показано только одно); 3 — воздушные мешки; 4 — киль грудины; 5 — сердце; 6 — вдох; 7 — выдох

из них — в легкие. В результате воздух через легкие идет непрерывным потоком и только в одном направлении — на выход.

Таскать в животе запас пищи и неторопливо его переваривать птицы не могут. У большинства млекопитающих содержимое желудка и кишечника составляет до четверти веса тела, попробуйте-ка взлететь с таким грузом. Поэтому кишечник у птиц короткий и работает очень эффективно, пища буквально проскакивает через него за считаные десятки минут. Необыкновенно быстро, эффективно и экономично работают и все остальные системы органов.

В результате птица, накопив запас легкого и калорийного топлива — жира, — способна несколько суток подряд находиться в воздухе. Даже такие, в общем, неважные летуны, как мелкие воробьиные, во время миграций могут продержаться в воздухе сорок–пятьдесят часов. Приблизительно столько длится беспосадочный перелет через Средиземное море и Сахару — маршрут, по которому летят на зимовку европейские овсянки, трясогузки и прочая мелочь. Ни одно другое позвоночное не способно находиться в непрерывном движении так долго.

За все, однако, приходится платить. Расплатой за полет стал, в частности, почти постоянный голод, который испытывают птицы. Кормежка — основное занятие большинства птиц, отвлекаются они от нее только ради совсем уж неотложных дел — для размножения, постройки гнезд, выкармливания птенцов. «За-



Длиннохвостая синица (ополовник) с выводком птенцов

думаться» об отвлеченных материях — для этого у птиц просто нет времени. Это не шутка. Хотя среди птиц есть на удивление сообразительные создания, те же врановые или попугаи, но развитие умственных способностей сверх необходимого у птиц не в моде, и в целом они в гораздо большей степени полагаются на врожденные программы поведения, чем неторопливые млекопитающие.

Ещё один тупик, в который загнало птиц их совершенство, — размножение. Беременность для птицы невозможна, с таким животом,

какой бывает у самок рептилий и млекопитающих, ни одна птица не поднимется в воздух. Птицы вынуждены откладывать яйца, причем формируются и откладываются яйца по одному. Но яйца нужно высиживать, а потом выкармливать прожорливых (ведь они же птицы) отпрысков. И быстрее, быстрее — постоянная потребность в пище подгоняет родителей и детей хлеще любого свирепого надсмотрщика. На общение с детьми и на передачу опыта времени почти не остается. И это тоже заставляет птиц полагаться на врожденные программы поведения в значительно большей степени, чем полагаются на них рептилии и млекопитающие. Полет ставит ещё одну преграду на пути эволюции птиц. Чем больше размер и, соответственно, вес птицы, тем большее мышечное усилие требуется ей, чтобы подняться в воздух. Но мы уже говорили о том, что при увеличении объема мышцы её вес увеличивается быстрее, чем сила (глава «Бронированный червяк»). И поэтому-то летающие птицы — сравнительно мелкие создания, во всяком случае, по сравнению с млекопитающими. Самые крупные не превышают веса нескольких килограммов.

ПИТАЮЩИЕ МОЛОКОМ

Первые млекопитающие появились на Земле двести с хвостиком миллионов лет назад, в середине триасового периода, незадолго до появления на Земле динозавров. Это были мел-

кие зверюшки, размером с молоденькую крысу. Питались они насекомыми, хотя наверняка позволяли себе время от времени ящерку или падаль. Вскоре после появления первых млекопитающих на Земле наступило царство динозавров, которое длилось около ста тридцати миллионов лет, до конца мелового периода. В течение этого огромного срока млекопитающие старательно эволюционировали и достигли заметных успехов — освоили живорождение, довели до совершенства теплокровность, широко расселились по планете.

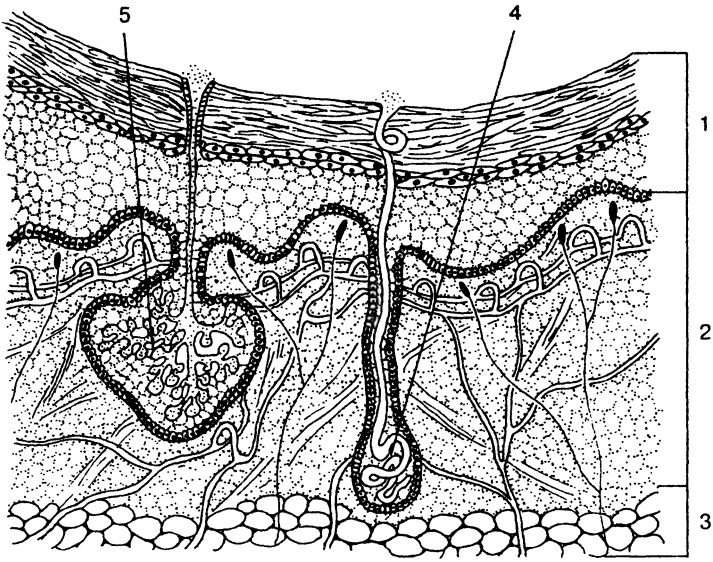
Мы как-то привыкли считать, что умение рожать живых детенышей чуть ли не главный признак млекопитающих, который отличает их от всех остальных позвоночных, откладывающих яйца. На самом же деле млекопитающие освоили живорождение далеко не сразу. Довольно долго они продолжали откладывать яйца, как это делали их предки и продолжают делать современные утконосы и ехидны. А вот выкармливать детенышей молоком начали, быть может, ещё предки млекопитающих — продвинутые мелкие цинодонты. Правда, сосков у примитивных млекопитающих ещё не было. Молоко выделялось из рассеянных пор на животе самки и собиралось в продольную бороздку на брюшке. Из этого «корытца» детеныши его и слизывали.

Выкормить детеныша теплокровного животного непросто, особенно если это животное мелкое и у него большие теплопотери. На поддержание постоянной температуры тела расхо-

дуется больше половины пищи, а чтобы детеныш мог ещё и расти, и развиваться, кормить его нужно до отвала. У птиц выкармливание детей отнимает огромное количество сил. Выкармливание молоком гораздо более экономично и дает млекопитающим массу преимуществ. Возникает вопрос, а почему птицы не сумели разработать такой способ вскармливания, если он так хорош? Как ни странно, но дело в том, что птицы произошли от слишком совершенных рептилий. А синапсиды, очень рано отделившись от основного ствола, сохранили ряд примитивных, амфибийных черт, которые оказались в дальнейшем очень полезными.

Рептилии — это амфибии, приспособившиеся к жизни на суше. Одним из главных приспособлений к такой жизни, помимо амниотического яйца, является роговой покров кожи, препятствующий испарению воды. Лягушка, которая кожей дышит, должна поддерживать её постоянно влажной, для чего у нее имеются специальные кожные железы, вырабатывающие слизь.

Тонкая влажная кожа — прекрасное место для проживания самых разнообразных грибов и бактерий. Лягушке такое удовольствие совершенно ни к чему, и у нее есть железы, вырабатывающие особые вещества, убивающие микробов. Недаром в старые времена хозяйки сажали лягушек в молоко. Кожные выделения угнетали деятельность молочнокислых бактерий, и молоко долго не скисало. Многие кожные железы, кстати, служат и ор-



Кожа млекопитающих:
1 — эпидермис; 2 — дерма; 3 — жировая клетчатка; 4 — потовая железа; 5 — сальная железа

ганами выделения, они выводят вредные для организма вещества.

Диапсиды, в частности ящерицы, крокодилы и динозавры, развили на коже мощные роговые чешуи. Кожные железы, как главный канал потери воды, сохраниться при этом, понятно, не могли. Кожа стала сухой и влагонепроницаемой. А вот синапсиды увлекаться роговой броней не стали. Они удовлетворились тонким роговым покровом и сохранили часть желез. Наши потовые и сальные железы — потомки лягушачьих кожных желёз, и наша кожа, с точки зрения продвинутых рептилий, очень примитивна. Кстати, и почки у нас

работают по лягушачьему принципу. Рептилии, экономя воду, выводят продукты обмена в виде кашицы из кристаллов. Так же поступают и птицы. А мы, подобно лягушкам, выводим их в растворе — в моче. Так что синапсиды были «плохими» рептилиями. Но именно кожные железы и позволили наладить производство молока. Молочные железы — это обычные кожные железы, потомки потовых желез. Птицы, как бы они ни старались, последовать по этому пути не могут. У эволюции нет обратного хода: что пропало, то пропало, исчезнувший орган не может появиться вновь.

ВЕРШИНА ЭВОЛЮЦИИ

Возможности любой конструкции не беспредельны. Как бы ни изощрялась эволюция, подстегивая организм то с одной стороны, то с другой, рано или поздно он дойдет до такого состояния, когда дальнейшее совершенствование станет невозможным. Потенциал, заложенный в основу системы, окажется исчерпанным. Животным, чтобы достичь предела совершенства, понадобилось немного времени — всего каких-то полмиллиарда лет энергичной эволюции — и готово, приехали. Невозможно создать более совершенное беспозвоночное животное, чем хорошее насекомое. Невозможно всерьез усовершенствовать конструкцию такого позвоночного, как продвинутое млекопитающее или птица. Так что же, тупик?

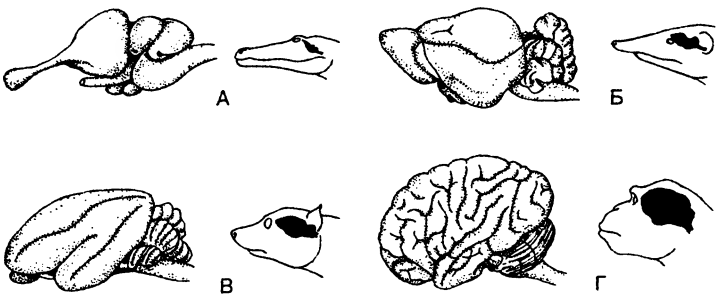
Сложное строение и тонкая координация действий разных органов требуют мощного центра управления — продвинутой нервной системы. Возникнув, этот центр позволяет животному совершенствоваться далее, уже не за счет улучшения конструкции — увеличения скорости, силы, неутомимости или точности, а за счет «правильности» действий. Животное начинает увеличивать успех своего размножения, питания и спасения за счет умения правильно оценить обстановку и предвидеть развитие событий. В результате возникает стимул к развитию мозга. Мозг становится сложнее, чем того требует управление мышцами, кишечником и печенью, эволюция нервной системы начинает опережать эволюцию остальных систем.

Дальше всех по этому пути продвинулись млекопитающие. Разница между мозгом мелового арктоциона и мозгом нынешних волков, лошадей или павианов гораздо больше, чем между мозгами археоптерикса и современной вороны. Поведение млекопитающих сложнее и тоньше, чем других позвоночных, и недаром млекопитающие стали господствующей группой наземных животных. Но самых невероятных успехов добился один отряд класса млекопитающих. Этот отряд — приматы.

Почему именно приматы, а не хищные или копытные, начали стремительно совершенствовать свои умственные способности — не совсем понятно. Вообще, приматы отряд очень древний и во многом примитивный. Появились

они около шестидесяти миллионов лет назад, в самом начале Века млекопитающих, всего через пять–шесть миллионов лет после исчезновения последних динозавров. Из ныне существующих млекопитающих наши самые близкие родственники — насекомоядные, очень древний и предельно примитивный отряд, с несовершенным скелетом и неразвитым мозгом, больше похожим на мозг порядочной рептилии, чем уважающего себя млекопитающего. К насекомоядным относятся, в частности, ежи, кроты и землеройки. До сих пор приматы, в том числе и мы с вами, сохранили множество примитивных черт в строении скелета и других внутренних органов. Но не в строении мозга и органов чувств. Уже сорок миллионов лет назад приматы владели самым крупным мозгом на планете. Речь, конечно, идет об относительной величине — отношении веса мозга к весу тела. Но поскольку приматы вообще довольно крупные существа, то и по абсолютному размеру мозга они опережали большинство млекопитающих.

Однако на этом приматы не остановились, их мозг продолжал увеличиваться и усложняться гораздо быстрее, чем мозг любого другого млекопитающего. Где-то около четырех миллионов лет назад на планете появились первые человекоподобные существа с объемом мозга около пятисот кубических сантиметров — полулитра. Затем началось что-то вообще непостижимое. За три с половиной миллиона лет мозг увеличился в три раза, у человека его объем в



Относительные размеры и строение головного мозга рептилии (А), землеройки (Б), собаки (В) и обезьяны (Г)

среднем около полутора литров. Это позволило приматам, в лице человека, развить такое сложное и гибкое поведение, что его даже трудно сравнивать с поведением других животных. В результате человек достиг такой численности и расселился так широко, как ни одно другое животное.

Вообще следует отметить, что с точки зрения анатомии и физиологии анормально развитый мозг приматов — уродство, почти такое же, как укороченные конечности или деформации черепа (довольно обычные мутации, причем в естественных условиях такие мутанты не выживают). Так что даже если у вас есть прямой резон развивать какую-либо систему органов, не факт, что это развитие окажется возможным. Естественный отбор может расценить крупный мозг и, соответственно, крупную голову или, скажем, связанные с этим изменения тазового пояса самок просто как уродство, мешающее убегать от врагов или гоняться

за добычей. Крупный мозг требует долгого развития, а это возможно только в определенных условиях обитания, иначе отбор может решить, что таскать девять месяцев живот, а потом несколько лет учить потомка уму-разуму — слишком большая роскошь. Кроме того, организм должен иметь анатомические и физиологические предпосылки для появления тех или иных «уродств» — на более ранней (или на более поздней) стадии эволюции органа определенные отклонения развития могут оказаться невозможными. Так что развитие какой-то одной системы, причем развитие гипертрофированное, возможно только при совпадении множества условий и снижении интенсивности отбора. Такое совпадение — редкий случай. Приматам просто невероятно повезло — в какой-то момент их эволюции обстоятельства сложились в неповторимую комбинацию, ослабившую отбор именно по признаку «мозговитости». А вот сумеем ли мы вполне использовать этот подарок судьбы или вымрем от неумения управлять своим поведением и своими сиюминутными желаниями — ответ на этот вопрос узнают наши потомки.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автогамия 202
Автотрофы 31
Аденозинтрифосфорная кислота 29
Азотистые основания 18
Аллантоис 357
Аллель 47
Альбуминовая клетка 254
Амебы 183
— раковинные 184
Амнион 357
Амниоты 358
Амфибии 352
Анамнии 358
Анемия серповидноклеточная 50
Аннелиды 324
Антеридии 272
Антибиотики 234
Аорта 348
Арктическая засуха» 267
Архебактерии 157, 164
Архегонии 271
Аспергилл 234
АТФ 29
Ауксоспора 207

Б

Багрянки 208
Бактерии 156
Бактериофаги 161
Баранец 278, 279
Бациллы 168
Бейтс Г. 66
Белки 10, 15
Беннетиты 294
Биосфера 137
Биохимия 9
Бластула 315
Бодо (жгутиконосец) 193
Бриофиты 269
Бумпус Г. 61
Бурые водоросли 209

В

Вакуоль сократительная 182
Вёзе Карл 155, 157
Вернадский В. И. 139

Вибрионы 168
Вид 37, 39, 154
Вирусы 159
Виттакер Р. 157
Вода 11, 22, 262
Водоросли
— бурые 209
— диатомовые 205
— зеленые 211
— золотистые 203
— красные 208
Волк 72
Воска 22
Вторичноротые 335

Г

Гаметофит 280, 298
Гаметы 272
Ганглий 319
Гастрея 308
Гаструла 315
Геккель Э. 79, 156, 308
Ген 47
Генотип 46
Гетерозиготы 47
Гетеротрофы 30
Гидроиды 269
Гиена полосатая 121
Гинецей 297
Гинкго 287
Гипермастигины 192
Гипокотиль 292
Гифы 224
Гликоген 13, 225
Гликолипиды 24
Голосеменные 287
Гольдшмидт В. 139
Гомозиготы 47
Грегарины 193
Грибы 157, 223
Грифы 119
Губки 311
Гумус 86, 89

Д

Двоякодышащие 346
Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) 17
Дейтомерит 194
Диатомовые водоросли 203
Диплококки 168
ДНК 17
Дрейф генов 59
Дрожжи 226
Дыхание 26

Е

Естественный отбор (виды) 63, 64

Ж

Жаберные щели 341
Жабры 327
Жгутики 169
Жгутиковые 188

Железо 140
Желток 356
Живорождение 68
Животные 305
Жиры 21
Жуки 295
— карапузики 117
— кожееды 118
— могильщики 116
— навозники 122

З

Завязь 297
Зародыш 291
Зеленые водоросли 211
Зигота 315
Золотистые водоросли 203
Зоомастигофоры 189
Зостерофиллы 277
Зюсс Э. 139

И

Иманиси К. 74
Интегумент 286
Инфузории 198

К

К- и r-стратегии 70
Кактусы 258
Кальций 140
Камбий пробковый 249, 255
Камбий сосудистый 255
Кислород 7, 139
Кистепёрые 346
Кишечнодышащие 338
Кишечнополостные 313
Клеточная оболочка 165, 181, 189
Клещи панцирные 96
Книдарии 313
Кокки 168
Коллемболы 97
Колленхима 246
Конъюгация 202
Копрофаги 115
Кора 250
Корень 256
Корневой чехлик 256
Красные водоросли 208
Крахмал 13
Кровь артериальная 349
Кровь венозная 349
Ксилема 251
Купеланд Г. 156
Купулы 285
Кутикула 194, 321

Л

Ламарк Ж.-Б. 139
Ланцетник 340
Латимерия 347
Лепестки 297
Лептоиды 269
Леса 142
Лигнин 14
Линней К. 140

Липиды 20
Липопротеины 24
Лист 260
Листовертка дубовая 130
Лихорадка кала-азар 192
Лишайники 235
Лососи 67

М

Макак японский 74
Макронуклеус 199
Макфедьен Э. 81
Малярийный плазмодий 195
Малярия 51, 193
Мантия 328
Мастигофоры 188
Мегаспоры 283
Мезоглея 314
Мезодерма 316
Мезосомы 167
Мезофилл 261
Меристемы 255
Метаболизм 25, 49
Мечников И. И. 309
Миияди 74
Микология 223
Микориза 229
Микронуклеус 200
Микропиле 285
Микроспорофилы 289
Микроспоры 283
Микроэлементы 91
Миксобактерии 170
Миксомицеты 218
Мимикрия 66
Мицелий 224
Млекопитающие 364
Молекула 9
Моллюски 327
Мономер 9
Моховидные растения 269
Мукор 234
Муравьи 112
Мутации 45
Мухи 117
Мюллер Ф. 66

Н

Насекомоядные 370
Некрофаги 115
Нектарники 294
Нематоды 98, 322
Нервная система 307
Нефридий 324
Ногохвостки 97
Нотохорд 338
Нуклеиновые кислоты 10, 17
Нуклеотид 20, 29
Нуцеллус 280, 285

О

Обмен веществ 25
Озон 139

Окисление 26, 27
Олигохеты 325
Оомицеты 214
Оплодотворение перекрестное 283
Орган 255
Органотрофы 171, 174

П

Пальмы саговые 258
Папоротники 279
Папоротники семенные 286
Параподии 327
Парéнхима 245, 258, 262, 318
Парусник (бабочка) 64
Пелликула 181, 190
Пенициллиум 234
Первичноротые 335
Перекрестное оплодотворение 283
Перидерма 249
Перисперм 299
Пестик 297
Пигменты 31
Плазматическая мембрана 165
Плазмопара 217
Плауновидные 278
Плацента 358
Плод 299
Плодолистик 296
Подстилка 89
Полимеры 9
Полисахариды 13
Полихеты 325
Популяция 49
Почва 86
Приматы 369
Приспособленность 56
Пробка 249
Пробковый камбий 249
Прогимноспермы 284
Прокариоты 156, 164
Проптеридофиты 275
Протисты 156, 176
Протомерит 194
Протонема 271
Псевдоподии 183
Псилот 277
Птицы 360
Пяденица березовая 63

Р

Радиолярии 186
Растения сосудистые 269, 274
Рекомбинация генов 45
Репликация 20
Рептилии 355
Рибонуклеиновая кислота (РНК) 17
Ризоиды 260, 281
Ризопус 234
Риниевые 275
Рипидистии 347

РНК 17
Рыбы костные 345
Рыльце 297

С

Саговники 258
Сапротрофы 92
Сахара́ 12
Семя 286, 292
Семядоли 292
Семязачаток 286
Серповидно-клеточная анемия 50
Синица 73
Сипы 119
Систематика 39, 153
Ситовидные клетки 253
Скелет 332
Склеренхима 246
Солнечники 186
Сонная болезнь 192
Соредии 236
Сосна 288
Сосудистые растения 269, 274
Сосуды 252
Спермии 272
Спириллы 168
Спорангий 272, 280
Споровики 193
Спорофит 272
Стафиллины 117
Стафилококки 168
Стебель 257
Степи 143
Стероиды 23
Стигма 192
Стопа 272
Стрептококки 168
Стробил 288
Сукцессия демутационная 133

Т

Термиты 112
Терпены 23
Ткань 177, 244, 255
Трахеиды 252
Тримерофиты 276
Трихомы 248
Трихоплакс 310
Турбеллярии 317
Тычинки 297

У

Углеводы 12
Устьица 248

Ф

Фагоцителла 309
Феллодерма 249
Фенотип 47
Фитофтора 215
Флагелляты 188
Флемминг А. 234
Флоэма 252, 267
Фораминиферы 184
Фосфолипиды 24

Фотогетеротрофы 172
Фотосинтез 31
Фототрофы 171

Х

Хвощи 279
Хеморецепторы 169
Хемотрофы 171, 173
Хитин 15, 225
Хитридиомицеты 214
Хорда 341
Хордовые 340
Хризофиты 203

Ц

Цветок 296
Цветоложе 296
Целлюлоза 14
Целом 322, 337
Циклоспорин 234
Цирры 200
Циста 166
Цитоплазма 182
Цитостом 181

Ч

Чашелистики 297
Черви дождевые 94
Черви кольчатые 324
Черви круглые 98, 320
Черви плоские 317
Чернотелки 111
Членистоногие 331

Ш

Шишка 288
Штенбейн Х. Ф. 139
Шульце Ф. 309

Э

Эвглена 190
Эволюция 52, 351
Экология 79
Экосистема 81
— лесная 102
— степная 101
Эктодерма 316
Элодея 240
Энгельс Ф. 17
Эндосперм 299
Эндоспора 166
Эндостиль 342
Энтодерма 316
Энхитреиды 96
Эпидерма 247, 256
Эпимерит 194
Эубактерии 164
Эукариоты 156
Эфедра 288

Я

Яйцеклетка 297

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

СОДРУЖЕСТВО
МОЛЕКУЛ

Странная планета 7
Четыре кита 9
Еда, скелет и броня 12
Основа основ 15
Память поколений 17
Липиды 20
Вещество и энергия 25
Универсальный аккумулятор 28
Самообслуживание 30

СТАНОВОЙ
ХРЕБЕТ БИОЛОГИИ
(ЭВОЛЮЦИЯ)

Что такое «вид»? 35
Источник новизны 44
Гены, аллели и популяции 46
Мутации хорошие и плохие 49
Эволюция 52
Что такое приспособленность 54
Куда ведет отбор 58
Стратегия размножения 66
Эволюция культуры 71

ЭКОЛОГИЯ

Что такое экология 79
Что такое экосистема 81
Колыбель жизни? 86
Мать сыра земля 89
Незаметные труженики 91
Степи, леса и пустыни 99
Лови мгновение 107
Почетная профессия мусорщика 110
Силы быстрого реагирования 115
Рубки ухода 123
Польза стресса 127
Смена курса 129
Возрождение из пепла 133
Биосфера 137
Биосфера и человек 141
Взгляд назад 147

БАКТЕРИИ И ПРОТИСТЫ

Кто есть кто 153
Шесть или семь царств 155
Беспризорники 159
Блеск и нищета прокариот 164
Гастрономические причуды 171
Кто такие протисты 176
Дополнительные конструкции 180
Амебы и их родня 183
Всякий сброд со жгутиками 188
Профессиональные паразиты 193
Верх совершенства 198
Рыбья пища 203
Красные и бурые водоросли 207
Предки растений 211

Двойники грибов 214
Суперамебы 218

ГРИБЫ И РАСТЕНИЯ

Родственники не обнаружены 223
Что такое гриб 224
Невидимая сила 229
Друзья и враги 233
Лишайники 235
Растения 239
Без чего не обойтись на суше 242
Вид растения изнутри 244
Вид растения снаружи 255
Вечная жажда 262
Сосудистые и не очень 268
Размножение мхов 271
Самые древние 274
Плауны, хвощи и папоротники 278
Как появилось семя 283
Сложная процедура 288
Следующий шаг 293
Верх совершенства 295
Неразрывная связь 300

ЖИВОТНЫЕ

Особый путь 305
Плавающий желудок 308
На полпути 311
Решительный шаг 315
Носители прогресса 317
Три ветви 320
Удачная находка 322
Аннелиды 324

Все из ничего 327
Бронированный червяк 330
Вторичноротые 335
Прародители хордовых? 337
Ланцетник 340
Позвоночные 343
Выход на сушу 345
Шиворот-навыворот 348
Между двух стульев 352
Все мы вышли из яйца 355
Что дальше? 359
Птицы 360
Питающие молоком 364
Вершина эволюции 368
Предметно-именной указатель 373

интернет-магазин
OZON.ru
73898871

ISBN 978-5-17-057413-1
9 785170 574131
АСТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО